

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie
(Leiter: Prof. Dr. H. Marx)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

**VERGLEICHENDE UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS
VERSCHIEDENER GIPSMODELLWERKSTOFFE AUF DAS
TRANSVERSALE UND SAGITTALE DIMENSIONSVERHALTEN
EINES KIEFERMODELLS**

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von

Günter Paulick
aus Frankfurt am Main

Mainz 1976

Das vorstehende ist eine Kopie des Originals, welches
im Archiv des Reichsarchivs zu Berlin, im Jahr
1871, durch die Reichsarchivverwaltung
hergestellt wurde.

Die Originalurkunde befindet sich im Reichsarchiv zu Berlin.

Die Originalurkunde befindet sich im Reichsarchiv zu Berlin.
Die Originalurkunde befindet sich im Reichsarchiv zu Berlin.
Die Originalurkunde befindet sich im Reichsarchiv zu Berlin.

Reichsarchivverwaltung

Das Reichsarchiv zu Berlin, im Jahr 1871, durch die Reichsarchivverwaltung
hergestellt wurde.

Reichsarchivverwaltung

Reichsarchivverwaltung

Reichsarchivverwaltung

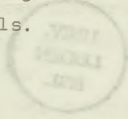


Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Abteilung für zahnärztliche Werkstoffkunde
und Technologie (Leiter: Prof. Dr. H. Marx)
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten

der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vergleichende Untersuchungen über den Einfluß
verschiedener Gipsmodellwerkstoffe auf das
transversale und sagittale Dimensionsverhalten
eines Kiefermodells.



Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der Zahnheilkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz,
den Medizinischen Fachbereichen vorgelegt

von

Günter P a u l i c k

aus Frankfurt am Main

Mainz 1976



Fachbereichsdekan: Prof. Dr. K. Fuhr
Referent: Prof. Dr. H. Marx
Korreferent: Prof. Dr. K. Fuhr
Tag der mündlichen Prüfung: 8. 7. 1976

Inhaltsverzeichnis

1.	<u>EINLEITUNG</u>	
1.1.	Die verschiedenen Modellwerkstoffe	S. 3
1.2.	Die zahnärztliche Verwendung des Werkstoffes Gips	3
1.3.	Die Chemie des Werkstoffes Gips	4
2.	<u>PROBLEMSTELLUNG</u>	
2.1.	Literaturübersicht über die bisherigen Untersuchungen des Volumenverhaltens zahnärztlicher Gipse	8
2.2.	Das Anliegen der Arbeit	10
3.	<u>MATERIAL UND METHODE</u>	
3.1.	Die untersuchten Gipsprodukte	12
3.2.	Die Herstellung des Urmodells	18
3.3.	Die Meßapparatur	21
3.4.	Die Abformung des Urmodells	
3.4.1.	Vorversuche mit Alginatabformmasse	22
3.4.2.	Herstellung eines Silikonabformblocks sowie Bestimmung seiner Dimensionsänderung	24
3.5.	Die Methodik zur Herstellung der Prüfkörper	32
3.6.	Die Versuchsdurchführung	35
4.	<u>MESSEERGEBNISSE</u>	37
5.	<u>STATISTISCHE AUSWERTUNG</u>	48
6.	<u>DISKUSSION DER MESSEERGEBNISSE UND DES VERFAHRENS</u>	52
7.	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	62
	<u>LITERATURVERZEICHNIS</u>	64
	<u>LEBENS LAUF</u>	69

1. EINLEITUNG

1.1. Die verschiedenen Modellwerkstoffe

In der Zahnheilkunde gehört die Herstellung eines originalgetreuen und widerstandsfähigen Arbeitsmodells, als Abbild des natürlichen Kiefers, zu den unabdingbaren Voraussetzungen für das einwandfreie Gelingen der verschiedenen technischen Arbeiten.

Die in der zahnärztlichen Literatur erwähnten Modellmaterialien untergliedern sich nach SCHWINDLING (36) in:

1. Gipse
2. Modellzemente
3. verschiedene metallische Werkstoffe
4. Kunststoffe

Zur Herstellung von Modellen ganzer Kiefer kommen nur Gips, Kunststoff und das galvanoplastische Verfahren in Frage. Dabei nehmen die Gipse heute noch die erste Stelle ein. Nicht nur die physikalischen Eigenschaften wie geringe Expansion, große Härte und Druckfestigkeit, Oberflächenglätte, Volumenkonstanz und Detailreproduktion, sondern auch die einfache Verarbeitung und nicht zuletzt preisliche Überlegungen haben dazu geführt, daß Gipse überwiegend verwendet werden.

1.2. Die zahnärztliche Verwendung des Werkstoffes Gips

Gips wird in der Zahnheilkunde verwendet zum Abformen, zur Herstellung von Arbeitsmodellen für Kunststoff- und Metall - Prothesen, sowie Schau- und Studienmodellen, als Einbettmasse für Wachsmodele in der Kunststofftechnik und als Basismasse für die Einbettmassen in der Metalltechnik (nach KLÖTZER, 11).

Dieses breitgefächerte Anwendungsgebiet erfordert verschiedene Modifikationen der Grundmasse Gips, um den verschiedenen Anforderungen gerecht zu werden.

Die American Dental Association (ADA) hat in ihrer Spezifikation Nr. 25 für dentale Gipsprodukte (1) eine brauchbare Einteilung geliefert. Sie unterscheidet 4 Arten von Gipsprodukten:

- Typ I Abdruckgips (plaster, impression)
- " II Modellgips (plaster, model)
- " III Hartgips (dental stone)
- " IV verbesserter Hartgips (dental stone, high strength)

Gipsmodellmassen, die speziell für die Verfahren der Kunststoff-Prothesenherstellung entwickelt wurden, stellen eine weitere Modifikation dar.

Bis auf den Abdruckgips werden alle diese Gipssorten in der vorliegenden Arbeit auf ihr Dimensionsverhalten in Kiefermodellen untersucht.

1.3. Die Chemie des Werkstoffes Gips (2, 11, 23, 31, 40)

Gips erfährt wie alle Stoffe, die vom plastischen in den starren Zustand übergehen, eine Volumenänderung (36).

Um diese Dimensionsänderung zu verstehen, ist es notwendig, einen Einblick in den chemischen Aufbau des Werkstoffes und die chemiko-physikalischen Vorgänge bei seiner Verarbeitung zu nehmen.

Gips ist ein gesteinsbildendes Mineral, das monoklin kristallisiert und in folgenden strukturellen Arten vorkommt:

als Dihydrat des Calciumsulfats: $\text{CaSO}_4 \times 2 \text{H}_2\text{O}$

als Hemihydrat des Calciumsulfats: $\text{CaSO}_4 \times 1/2 \text{H}_2\text{O}$

als Anhydrit: CaSO_4

Gips ist als Anhydrit und Dihydrat in der Natur weit verbreitet. Das Dihydrat ist im Wasser nur wenig löslich. Um das Dihydrat technisch verwenden zu können, erhitzt man es auf über 100°C . Dabei spaltet Gips $3/4$ seines Kristallwassers ab und es entsteht das Hemihydrat. Rührt man dieses gebrannte Gipspulver mit wenig Wasser zu einem Brei, so bildet sich wieder das Dihydrat, welches in kurzer Zeit als feste, aus miteinander verfilzten Gipskristallen bestehende Masse auskristallisiert. Auf diesem Übergang vom plastischen in den

festen Zustand beruht auch seine Verwendung in der Zahnheilkunde.

Durch verschiedenartiges Brennen des Dihydrates kommt man zu zwei Modifikationen des chemisch gleichen Halbhhydrates.

Trockenbrennverfahren:

Beim Brennen des Dihydrates in offenen Kochern entsteht ab 97°C bis ca. 150°C das aus feinflockigen Kristallen bestehende β -Hemihydrat. Es ist die Grundlage eines relativ weichen und stark expandierenden Gipses. Er wird als Modellgips oder auch Alabastergips bezeichnet. Zum Anrühren mit Wasser werden auf 100 g Gips 40 - 50 ml Wasser gebraucht. Dieses Mischungs- und Gewichtsverhältnis nennt man W/P-Verhältnis oder auch Wasserfaktor W. Bei den Modellgipsen ist demnach $W = 0,40 - 0,50$.

Naßbrennverfahren:

Beim Erhitzen in gesättigtem Dampf bei Überdruck (im Autoklaven) entsteht im gleichen Temperaturbereich das grobkristalline α -Hemihydrat. Dieses Pulver ist die Grundlage der dentalen Hartgipse. Dieses Verfahren wurde 1899 von J. Lewinski patentiert. Die größeren Partikel des α -Halbhhydrates bedingen eine geringere Oberfläche als beim β -Halbhhydrat. Dadurch kann unter Erhaltung der Anrührkonsistenz die Wassermenge auf ca. 30 ml gesenkt werden. Der Wasserfaktor beläuft sich also auf $W = 0,30$.

Weitere Forschungen führten schließlich zur Herstellung der verbesserten Hartgipse (auch Spezialhartgipse oder Stonegipse bezeichnet). Der Zusatz von 30 %iger CaCl_2 -Lösung beim Brennen im Autoklaven ergibt noch größere α -Halbhhydratpartikel. Das Verfahren wurde 1952 von HOGATT (8) patentiert. Die noch größere Partikelstruktur dieses modifizierten α -Halbhhydrats ermöglicht die Wasseranrührmenge noch weiter zu reduzieren: $W = 0,20 - 0,25$. Sie bringt außerdem eine weitere Härtesteigerung. Nach SCHWINDLING (34) haben die Gipsprodukte mit dem geringsten Wasserbedarf die größte Härte und die geringste Expansion.

Die chemische Form dieser Halbhydrate bleibt gleich, unterschiedlich ist nur die geometrische Form der Kristallpartikel.

Mit dem Einstreuen des Gipspulvers in das Wasser beginnt der noch nicht im Ganzen geklärte Abbinde- und Verfestigungsvorgang.

Zunächst folgt die Lösung des Halbhydrates im Wasser. Das Volumen der Lösung verkleinert sich und die Temperatur sinkt ab, da die Gitterenergie aufgebracht werden muß, um die Moleküle des Kristalls zu trennen.

Danach nimmt das Halbhydrat das beim Brennen verlorene Kristallwasser wieder auf und geht in die Dihydratform über. Diese Hydratation ist ein exothermer Vorgang. Das Dihydrat ist in Wasser aber schwerer löslich als das Halbhydrat. Da außerdem durch die Hydratation der Lösung Wasser entzogen wurde, bildet sich schnell eine an Dihydrat übersättigte Lösung, aus der sich dasselbe in kolloidaler Form, als Gel, abscheidet. Aus diesem Gel kristallisiert dann das Dihydrat unter Volumenvergrößerung aus.

Nach CAVAZZI (zitiert bei 31) läßt sich die Volumenvergrößerung des Gipses mit Beginn der Hydratation auf den höheren Wassergehalt des Gipsgels im Vergleich zum rein stöchiometrisch zu errechnenden Wassergehalt des Dihydrats zurückführen. Ein ideal nach dem stöchiometrischen Verhältnis angerührter Gips wäre zu zäh, um ihn zu verarbeiten. Er müßte nach der Abbindereaktion



theoretisch einen 7,11 %igen Volumenschwund haben (17).

Das vom Gips zuviel aufgenommene Wasser wird während der Erhärtung durch das Schwitzen der Modelle bzw. Austrocknung wieder abgegeben. Der ausgehärtete Gips stellt dann eine poröse Masse aus Dihydrat, einem trockenem Schwamm vergleichbar, dar.

LAUTENSCHLAGER (18) stellte mit Röntgenstrukturanalysen fest, daß reines Halbhydrat zu 100 % in Dihydrat umgesetzt wird

und der Zeitpunkt der vollständigen chemischen Umsetzung materialspezifisch ist und nicht vom W/P-Verhältnis der Mischung abhängt.

Zum Zeitpunkt der Verfestigung (hier Versteifungsende nach GILMORE), der vom Wasserfaktor des Gemisches abhängt, ist die chemische Reaktion noch nicht annähernd beendet.

2. PROBLEMSTELLUNG

2.1. Literaturübersicht über die bisherigen Untersuchungen des Volumenverhaltens zahnärztlicher Gipse

Die möglichst dimensionsgetreue Wiedergabe ist die wohl wichtigste Anforderung an ein Modellmaterial, deshalb wurde das Volumenverhalten des Werkstoffes Gips in den vergangenen Jahrzehnten eingehend untersucht. Einhellig sind alle Autoren darin, daß der Versteifungsprozeß der Gipse unter Volumenvergrößerung vor sich geht. Diese Abbindeexpansion beträgt grob eingegrenzt zwischen 0,06 - 0,60 % linear (11). COMBE (4) spezifiziert diesen Bereich auf 0,3 - 0,4 % für β -Hemihydratprodukte und 0,05 - 0,30 % für α -Hemihydrate. Die ADA-Spezifikation Nr. 25 für dentale Gipsprodukte (1) fordert für Modellgipse maximal 0,30 %, für Hartgipse maximal 0,20 % und für verbesserte Hartgipse maximal 0,10 % lineare Expansion. Die Meßergebnisse verschiedener Autoren (4, 7, 9, 10, 19, 22, 23, 24, 32, 33, 34, 38) liegen größtenteils innerhalb dieser Bereiche, zeigen zum Teil jedoch große Differenzen bei der Untersuchung gleicher Gipsprodukte (vergl. Kap. 6, Tab. 20). Bei den zitierten Untersuchungen handelt es sich ausnahmslos um Expansionsmessungen an einfachen Prüfkörpern mit mechanischen, optischen und elektrischen Meßverfahren. Die gemessenen Differenzen müssen ihre Erklärung in unterschiedlichen Prüfbedingungen finden.

Hier wäre als erstes das W/P-Verhältnis zu nennen. Allgemein gilt, daß die Expansion um so größer wird, je höher der Gipsanteil ist und umgekehrt (5, 17, 40). Jedoch ergibt es auch hierbei konträre Ergebnisse. Während z.B. LAUTENSCHLAGER (17) mit zunehmender Dichte des Gipsbreies eine eindeutige Zunahme der Expansion ermittelte, stellte PANTKE (24) fest, daß jede Änderung des vom Hersteller angegebenen Mischungsverhältnisses zu einer Erhöhung der Expansion führt.

Ein weiterer einwirkender Faktor ist die Anrührzeit; die Ausdehnung steigt proportional mit der Anrührdauer (11, 23).

Abweichende Ergebnisse werden weiterhin durch verschiedene Definitionen von Meßbeginn und Meßende erreicht. Der Nullpunkt der Expansion ist nach SCHWINDLING (34) das Ende der Fließfähigkeit (Rüttelfließgrenze), nach SCHUBERT (32) das Glanzloswerden des Gipsbreies und nach GARDEMIN (7) die früheste Formstabilität. Der Stillstand der Expansion und Volumenkonstanz ist bei JØRGENSEN (10) nach einer Stunde, PANTKE (24) nach zwei bis vier Stunden, GARDEMIN (7) nach fünf Stunden und bei SCHUBERT (32) erst nach zwanzig Stunden erreicht.

Raumtemperatur, Temperatur des Anrührwassers und relative Luftfeuchtigkeit sind weitere Einflußgrößen für Abbindeexpansion und -Zeit.

Die bisher genannten Faktoren sind zu normieren, um vergleichbare Versuchsbedingungen zu erhalten.

Eine mögliche Erklärung können die gemessenen Unterschiede zudem in unterschiedlichem Qualitätsstandard eines Materials bei verschiedenen Verpackungen finden.

Es gibt jedoch weitere Einflüsse auf die Größe der gemessenen Expansion. JØRGENSEN (10) und KUSNER (15) stellten fest, daß unterschiedlich mechanische Widerstände, die vom expandierenden Körper zu überwinden sind, sich sehr stark auf die Höhe der Abbindeexpansion auswirken.

Über den Einfluß der Prüfkörperabmessung auf die Expansion ist bisher sehr wenig berichtet worden. LEHMANN (19) stellte fest, daß ein konischer Stumpf an seiner Stumpfbasis überproportional breiter wiedergegeben wird als am oberen Stumpfdurchmesser. KNAB (12) ermittelte unterschiedliche lineare Dimensionsänderungen zwischen Sockel- und Zahnreihen eines Kiefermodells. In beiden Fällen wurde mit Abformungen gearbeitet und es war nicht möglich, das Dimensionsverhalten des Gipses von dem des Abformmaterials zu trennen und somit eindeutige Ergebnisse zu erzielen.

Die bisherigen Untersuchungen an Einbettmassen auf Gipsgrundlage beweisen jedoch, daß Formkörper durch die Abbindeexpansion

sion ungleichmäßig verändert und sogar verzerrt werden. Komplizierte Prüfkörper zeigen an verschieden konfigurierten Meßstrecken keinesfalls ein einheitliches Expansionsverhalten. Der Einfluß der Abmessungen des Prüfkörpers auf die Höhe der prozentualen linearen Expansion ist eindeutig ausgeprägt (6, 21, 26, 39).

Somit werden die jeweilige Konstruktionsform der Meßapparatur (V-förmiger Trog, Mulde, Quader, Zylinder) und deren Abmessungen das Meßergebnis wesentlich beeinflussen.

2.2. Das Anliegen der Arbeit

Die in der Literaturübersicht aufgezeigten unterschiedlichen Ergebnisse und ihre Gründe lassen keine exakte Aussage über das Dimensionsverhalten der Gipsmodellmassen in einem Kiefermodell zu. Dies an einigen exemplarischen Strecken innerhalb eines bezahnten Kiefermodells darzustellen, war die Aufgabe dieser Arbeit. Die geschilderten Störfaktoren wie Prüfkörperform, Meßapparaturwiderstand, Definition des Meßbeginns sind hierbei ausgeschaltet bzw. auf das Objekt des eigentlichen praktischen und klinischen Interesses, das aus einer Abformung auszugießende Kiefermodell, reduziert.

Die Schwierigkeit dieser Methode liegt im unvermeidlichen Zwischenschritt vom Original zum Modell, der Abformung. Das Volumenverhalten der gebräuchlichen Abformmaterialien ist zumindestens ebenso kompliziert und im Detail unerforscht, wie das der Modellmaterialien.

Es ergeben sich dabei folgende Verfahrensmöglichkeiten, die Dimensionsänderung der zu untersuchenden Gipse vom Einfluß der Abformmaterialien zu trennen.

1. Durch normiertes Abformverfahren ist die dimensionale Abweichung von einem Urmodell in geringer und stets konstanter Fehlergröße zu halten. Dabei sind formkonstante Abformmaterialien Voraussetzung, die nach Möglichkeit mehrfach ausgießbar sind. Resultat dieses Verfahrens wären relative Aussagen über

das Verhältnis der linearen Expansion zwischen den verschiedenen Gipsprodukten.

2. Die Größe der Meßstrecken wird in den Abformungen, falls diese volumenkonstant sind, bestimmt und damit zur Bezugsgröße für absolute Aussagen über Expansionsunterschiede zwischen den Meßstrecken des Modells und zwischen den zu prüfenden Gipsen.

Vorversuche müssen zeigen, mit welchen Abformmaterialien und Methoden das gesteckte Ziel zu erreichen ist.

3. MATERIAL UND METHODE

3.1. Die untersuchten Gipsprodukte

Untersucht auf ihr Dimensionsverhalten wurden 12 zahnärztliche Formgipse, die sich nach der ADA-Spezifikation Nr. 25 (1) wie folgt unterteilen:

2 Modellgipse

3 Hartgipse

6 verbesserte Hartgipse (im deutschen Schrifttum auch als Stone-Gips oder Spezialhartgipse bezeichnet)

1 Modellmaterial für die Prothesenherstellung mit der Spritz-Preßtechnik (in der Spezifikation nicht berücksichtigt).

Soweit vom Hersteller Eigenschaften wie Abbindezeit, Abbindeexpansion, Härte und Feinheit sowie Verarbeitungsanleitung angegeben sind, seien sie hier erwähnt.

Die Auswahl der Gipse erfolgte subjektiv anhand folgender Kriterien:

- a) Verwendung der Materialien in unserer Klinik
- b) Bekanntheitsgrad
- c) Neuentwicklungen (die Produkte 5, 6 und 12)

Verbesserte Hartgipse:

1. BEGODUR (Herbst, Deutschland)

"Spezialhartgips für Mustermustermodelle. Hervorragend geeignet für die Anfertigung kantenfester Modelle.

Verarbeitung: Die Härte der Gipsmodelle wird durch das Anmischverhältnis bestimmt. Für ein Kiefermodell empfiehlt sich 100 g BEGODUR mit 25 ccm Wasser zu mischen. Die etwas dicker als gewöhnlich angerührte Mischung läßt sich auf dem Vibrator leicht durchspateln. Für kleinere Modelle kann der Gipsanteil auf 4,5 Anteile erhöht werden. Die Abbindezeit kann durch kürzeres oder längeres Anrühren selbst reguliert werden."

2. VELMIXSTONE rosa (Kerr, USA)

"Physikalische Eigenschaften:

Abbindeexpansion: 0,04 - 0,08 % lin. (nach 2 Std.)

Abbindezeit (Vicat): 8 - 10 min.

Brinellhärte: 41 kp/mm².

Kerr VELMIXSTONE wird wie jeder herkömmliche Hartgips mit Wasser gemischt. Ein Mischungsverhältnis Pulver : Wasser von 4 : 1, d.h. 100 g Pulver auf 22 - 25 ccm Wasser wird empfohlen.

Pulver dem Wasser begeben und 1 Minute lang durchspateln. Bei leichter Vibration hat VELMIXSTONE eine gute Fließfähigkeit."

3. MOLDAROC (Bayer, Deutschland)

"Gelber Super-Hartgips. Für Modelle, die ganz besonders hart sein müssen, z.B. für Geschiebe, Teleskope, Schienen, Skelettierungen.

Anrührkonsistenz: 110 : 30

Erhöhung der Härte möglich durch größeren Moldaroc-Anteil bis 130 : 30."

4. Duroc (Ransom and Randolph Co., USA)

"Mischungsverhältnis Wasser : Pulver = 24 ccm : 100 g

Erste Erhärtungsperiode = 8 - 10 min.

Expansion = 0,05 % lin.

In Fällen, wo auf allergrößte Genauigkeit und Härte Wert gelegt wird, ist Duroc der ideale Hartgips. Seine Expansion nach dem Erhärten ist nur halb so groß wie anderer Hartgipse und seine Kompressionsfähigkeit ist 50 % größer. Die Oberfläche ist äußerst glatt und trotzdem widerstandsfähig gegen Abrasion oder Abblättern.

Verarbeitung: Mit der Hand 30 sec. spateln, nach 15 - 20 min. ausbetten."

5. TEWESTONE (Kettenbach, Deutschland)

"Synthetischer Modellgips

Vorzüglich geeignet zur Herstellung von Arbeits- und Meistermodellen aller Art, besonders für den Metallguß, für Dauer- und Prüfmodelle. Hervorragende Fließfähigkeit. Schnelle Abbindung, Hohe Kratzfestigkeit und Kantenschärfe.

Physikalische Daten:

Korngröße unter 150 μ	: 98 %
Kristallwasser	: unter 6,2 %
Mischungsverhältnis Pulver	: Wasser g/ccm 100 : 23 ± 1
Verarbeitungszeit	: $6 \pm 1,5$ min.
Beschneidbarkeit	: 8 ± 1 min.
Versteifungsende (Vicat)	: $9 \pm 1,5$ min.
Druckfestigkeit kp/ccm	: feucht nach 2 Std.: über 400 feucht nach 24 " : " 430 trocken : " 700
Brinellhärte kp/ccm	: feucht nach 2 Std.: über 1000 feucht nach 24 " : " 1200 trocken : " 2500
Abbindeexpansion	: ca. 0,10 % lin.

Verarbeitungshinweise: Pulver in das vorbereitete Wasser einstreuen und sofort 30 sec. kräftig bis zur homogenen Konsistenz mischen. Wassertemperatur sollte ca. 20° C betragen. Die angegebenen Werte sind mit destilliertem Wasser ermittelt. Leitungswasser bringt je nach Wasserhärte Verzögerung um 1 - 2 min.:

6. ALPHA-DUR 700 (Schütz, Deutschland)

"ALPHA-DUR ist der erste synthetisch hergestellte Dentalgips. Ein Steinhartgips der auf Grund seiner einzigartigen chemischen Zusammensetzung bisher unerreichte Werte bringt wie Härte, Expansion, Oberflächenglätte und Fließfähigkeit. Dazu ist ALPHA-DUR ein schnellhärtender Gips mit einer verlängerten Arbeitsbreite. ALPHA-DUR ist besonders unempfindlich gegen Auswaschungen und Zerspringen.

Physikalische Daten:

Korngröße unter 150 μ : 98 %

Kristallwasser : unter 6,2 %

Mischungsverhältnis Pulver : Wasser 100 : 24 ± 1

Verarbeitungszeit : $6 \pm 1,5$ min.

Beschneidbarkeit : 8 ± 1 min.

Versteifungsende : $9 \pm 1,5$ min.

Druckfestigkeit kp/ccm : feucht nach 2 Std. : über 480

feucht nach 24 " : " 500

trocken : " 800

Brinellhärte kp/ccm : feucht nach 2 Std. : über 1450

feucht nach 24 " : " 1600

trocken : " 3000

Abbindeexpansion: ca. 0,02 % lin.

Verarbeitung: Pulver in das Wasser streuen und sofort 30 sec. kräftig bis zur homogenen Konsistenz mischen. Die Wassertemperatur sollte etwa 20° C betragen. Die angegebenen Werte sind mit destilliertem Wasser ermittelt. Leitungswasser bringt je nach Wasserhärte Verzögerungen von 1 - 2 min."

Hartgipse:

7. RAPIDUR (Dentaurum, Deutschland)

"Modell-Hartgips - schnellabbindend

RAPIDUR zeichnet sich durch eine innerhalb kürzester Abbindezeit maximal erreichbare Härte aus. Nach 30 min. weist RAPIDUR bereits eine überlegene Härte von ca. 4,5 kp/mm² auf, die bei völliger Austrocknung bis auf 11 kp/mm² steigt.

Dank seiner geringen Abbindeexpansion von nur 0,05 - 0,08 % lin. ist RAPIDUR besonders auch für Kronen- und Inlaystümpfe geeignet.

Arbeitsanleitung: RAPIDUR ist an kein eng begrenztes Mischungsverhältnis gebunden. Zu 100 g Pulver können 20 - 25 ccm Wasser gegeben werden. Es gilt für RAPIDUR die allgemein gültige Regel:

je steifer angerührt desto größer die Aushärtung. Als Mittelwert seien 100 g Pulver zu 23 ccm Wasser empfohlen. Nach dem Einstreuen der abgewogenen Pulvermenge in das abgemessene Wasserquantum wird ca. 1/2 bis 1 min. kräftig durchgespatelt. Auf dem Vibrator fließt RAPIDUR auch dick angerührt zuverlässig aus."

8. MOLDANO (Bayer, Deutschland)

"Blauer Hartgips. Seit vielen Jahren durch seine gleichbleibende Qualität einer der bekanntesten Spezialhartgipse für die zahnärztliche Technik. Praktisch volumenbeständig, deshalb ein Höchstmaß an Modelltreue. Glatte homogene Oberfläche durch sehr feines Korn. Besonders schab- und kratzfest, keine Beschädigung des Modells.

Anrührkonsistenz: 100 : 30

Beim Einrütteln cremeartiges Ausfließen in jede Feinheit des Abdrucks. Völlig indifferent gegenüber modernen Abformmassen, keine Veränderung der Modelloberfläche.

Brinellhärte: 19 kg/mm² nach endgültiger Aushärtung.

Abbindeexpansion: ca. 0,20 % lin.

Abbindezeit: ca. 15 min."

9. WIPOGRANIT (Wiegelmann und Söhne, Deutschland)

"Spezialhartgips für Spritzguß

Speziell für das Polyapress-Spritzgußverfahren entwickelt (hohe Standfestigkeit beim Abspritzen durch hohe Dichte) und auch als normaler Modellhartgips verwendbar.

Verarbeitung: Mischverhältnis Pulver : Wasser 100 : 33

Anrührzeit: 1 min.

nach 7 - 10 min. bearbeitbar."

Modellgipse

10. NON-PLUS-ULTRA (Hinrichs, Deutschland)

"Anmischverhältnis: bis zu 50 ccm Wasser auf 100 g Gips.

Abbindezeit: 15 - 18 min."

11. MOLDABASTER (Bayer, Deutschland)

Keine Verarbeitungsanleitung erhältlich.

Spezialgipse

12. SR-IVOCAP MODELLMATERIAL (Ivoclar, Lichtenstein)

Für das SR-Ivocapsystem der Prothesenherstellung (Spritz-Preßverfahren) sollen die Kiefermodelle aus SR-IVOCAP Modellmaterial hergestellt werden.

"Durch die Anwendung des Spezialgipses mit der dafür vorgesehenen besonderen Flüssigkeit wird eine Ausdehnung des Modells erreicht, die die thermische Schrumpfung des Polymerisats bei der Abkühlung auf die Mundtemperatur praktisch kompensiert.

Mischungsverhältnis Pulver : Liquid 105 g : 30 ccm."

3.2. Die Herstellung des Urmodells

Theoretische Überlegungen:

Die Meßstrecken sollten im Bereich der Zähne liegen, um über die dort vorgehenden Dimensionsänderungen Auskunft zu geben. Die Zahl der Meßstrecken im Zahnbogen des Urmodells wurde auf drei festgelegt. Davon sollte sich eine im Seitenzahnbereich in sagittaler Richtung befinden, ausgehend von 1. Praemolaren bis zum 2. Molaren. Eine transversale Meßstrecke sollte sich im posterioren Seitenzahnbereich an der Stelle seiner größten Breite befinden, sie wurde vom rechten zum linken 2. Molaren geplant. Die dritte Meßstrecke sollte sich im anterioren Seitenzahnbereich befinden, transversal vom rechten zum linken 1. Praemolaren gehend.

Ausführung:

Es wurde nach Abformung eines FRASACO-Oberkiefermodells ein mit PALAVIT M ausgegossenes Kunststoffmodell hergestellt, bei dem die Zähne 13, 18 und 28 fehlten. Auf einer Drehbank wurde die Unterfläche des Modells plan gefräst. Senkrecht zur nun planen Aufstellfläche wurde an den Zähnen 14 und 24 buccal, 17 und 27 buccal sowie 14 mesial und 17 distal zueinander parallele Fräsungen in der ganzen Breite der Zähne angebracht. Um diese senkrechten Fräsungen in gleicher Höhe enden zu lassen und eine scharf rechtwinklige Meßkante zu erreichen, wurden parallel zur Aufstellfläche an den genannten Zähnen horizontale Fräsungen eingearbeitet. Schließlich wurden den Anforderungen der Meßapparatur entsprechend zwei Anstellflächen eingearbeitet, eine für die transversalen Meßstrecken am posterioren Sockelrand, senkrecht zu den transversalen Parallelfra sungen und senkrecht zur Sockelunterfläche stehend. Die zweite Anstellfläche für die sagittale Meßstrecke befand sich senkrecht zu der Parallelfra sung und senkrecht zur Sockelunterfläche am seitlichen Sockelrand.

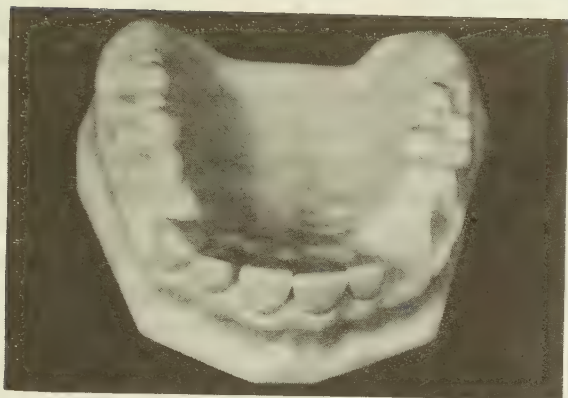


Abb. Nr. 1: Urmodell

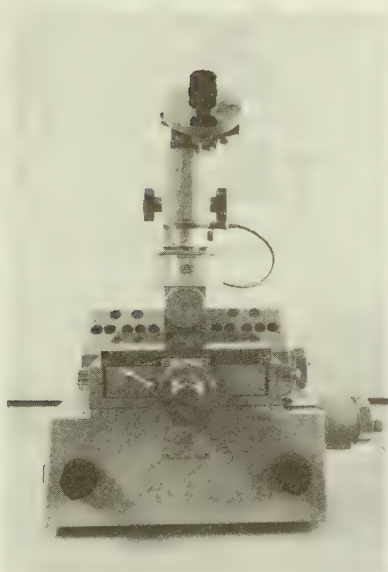
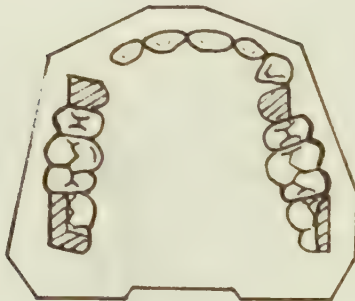


Abb. Nr. 2: Meßmikroskop

Die so entstandenen Meßstrecken konnten erstens optisch vermessen werden (an den parallelen Kanten, als Schnittlinien der senkrecht zueinander verlaufenden Flächen) und zweitens mechanisch abgetastet werden (an den parallel zueinander stehenden vertikal gefrästen Flächen).

Die Vermessung des Urmodells ergab folgende Längen:

Meßstrecke	a	(17 - 27)	:	5,4980 cm
Meßstrecke	b	(14 - 24)	:	4,1922 cm
Meßstrecke	c	(14 - 17)	:	2,9522 cm



Urmodell, schematisch

3.3. Die Meßapparatur

Die Längenmessung am Urmodell und an den Prüflingen erfolgte mit dem ZEISS-Werkstattmikroskop 50/100 digital (Abb. Nr. 2)

Das Prinzip des Gerätes und die Handhabung seien kurz erklärt:

Die Längenmessung erfolgte kombiniert optisch, mechanisch und elektrisch. Das zu vermessende Modell wird auf dem Meßtisch fixiert, indem es mit seinen Anstellflächen an eine in Querrichtung einjustierte Schiene gebracht wird. Eine zusätzliche Fixierung mit Spannpratzen erwies sich beim optischen Messen als überflüssig. Mit dem über dem Meßtisch angeordneten Mikroskop wird eine Meßkante des Modells anvisiert. Der Prüfling kann zu diesem Zweck gegenüber dem Mikroskop bewegt werden, indem Längs- und Querwagen verschoben werden. Das Mikroskop wird auf eine 15-fache Vergrößerung eingestellt. Das Strichkreuz des Okulars wird scharf eingestellt und seine senkrechte Linie wird nun mit der Meßkante in Dekkung gebracht. Dazu ist das Mikroskop in der Höhe verstellbar und der Prüfling in der Ebene verschiebbar. Die notwendige Beleuchtung erfolgt in diesem Falle zweckmäßiger Weise von der Seite, indem die vertikalgefrästen Flächen angestrahlt werden. Dadurch wird an der Meßkante ein ausgeprägt scharfer Hell-Dunkelkontrast erzielt. Die digitale Längsanzeige wird nun genullt und der Längswagen mit dem Prüfling kann zur anderen Meßkante verschoben werden. Das Maß der Verschiebung ist gleichzeitig das Maß für die Prüflänge und erscheint direkt auf der Digitalanzeige.

Die Wegmessung erfolgt in zwei getrennten Stufen. Die erste Stufe bewirkt über eine Präzisionsspindel die Anzeige des Meßwertes vor dem Komma (cm und mm). Die zweite Stufe bewirkt über eine Feinmeßspindel die Anzeige von Zehntel, Hundertstel und Zweitausendstel Millimeter. Sie ist nur beweglich im Bereich von 0,000 bis 0,998 mm. Über ein System von Kontaktfedern und Kontaktbahnen erfolgt auf elektrischem Weg die direkte digitale Anzeige des gefahrenen Wegs.

Die zweite Meßkante kann mit der Mikrometerschraube der zweiten Stufe genau eingestellt werden und die gemessene Länge wird auf 0,002 mm genau abgelesen.

Die subjektive Meßgenauigkeit bei mehrmaligen Vermessen derselben Meßstrecke wird auf $\pm 0,002$ bis 0,004 mm eingeschätzt. Sie hängt von der Oberflächenglätte bzw. Kantenschärfe des zu vermessenden Gipsfabrikates ab.

PANTKE (24) gibt bei einem ähnlichen mikroskopischen Meßverfahren eine Ungenauigkeit von $\pm 0,003$ mm an.

Diese optische Längenmessung erwies sich im Falle des Vermessens von Gipsmodellen einem anderen mit dem Gerät möglichen Verfahren überlegen. Dieses zweite Verfahren ist das Messen mit der mechanischen Meßeinrichtung und Doppelbildokular.

Diese Methode beruht darauf, daß ein Kugeltaster an eine senkrechte Prüflingsfläche herangefahren wird, bis er senkrecht ausgerichtet ist, was mit Hilfe eines zur Deckung gebrachten Doppelbildes im Okular überprüft wird. Daraufhin erfolgt wiederum das Nullen, Verschieben des Quertisches und schließlich derselbe Vorgang an der anderen Meßfläche. Nach Vorversuchen stellten sich folgende Nachteile heraus:

1. Die Qualität eines Gipsmodells (Oberflächenglätte) kann nicht wie im Mikroskop visuell überprüft werden.
2. Es wird nur von Punkt zu Punkt gemessen, während mikroskopisch von Kante zu Kante gemessen wird und ca. 7 mm Kantenlänge im Okular sichtbar sind. Luftperlen und -blasen können das Meßergebnis bei der mechanischen Methode verfälschen.
3. Mehrmaliges Heranführen des federnd aufgehängten mechanischen Tasters führt bei weichen Gipsen zu Deformationen im Tausendstelmillimeterbereich.

3.4. Die Abformung des Urmodells

3.4.1. Vorversuche mit Alginatabformmasse

Alginate stellen nach allgemeiner Ansicht bei exakter Verarbeitung eine Abformmasse von guter Detailreproduktion

und ausreichender Volumenkonstanz dar.

LAURITZEN (16) schreibt, daß Alginat, wenn sie sorgfältig verarbeitet werden, exzellente Abdruckmaterialien sind und gibt, ebenso wie REHBERG (27) genaue Verarbeitungshinweise. LAURITZEN benutzt für Okklusionsanalysen, wo höchste Präzision in der Reproduktion der Zahnreihen verlangt wird, Alginatabformmasse in Kombination mit einem Spezialhartgips (VELMIXSTONE).

Für den Zweck dieser Arbeit wurde eine Methode entwickelt, standardisierte Abformungen herzustellen, um die unvermeidbaren Abweichungen möglichst gering zu halten.

Das Urmodell wurde auf eine Plexiglasplatte verschraubt, die mit 2 parallelstehenden Metallführungsstiften versehen war. Der aus Kunststoff hergestellte individuelle Abdrucklöffel konnte durch entsprechende Aussparung somit senkrecht auf das Urmodell geführt werden. Außerdem wurde dadurch eine gleich bleibende 5 mm starke Schicht der Abformmasse erzielt. Der Löffel war mit großen Perforationen versehen, um die Druckanwendung bei der Abformung gering zu halten und so Verziehungen des Löffels zu vermeiden. Es wurde ein standfestes Alginat (ZELGAN, De Trey) verwendet, um auch hier mögliche Deformationen gering zu halten. Der Arbeitsgang der Abformung wurde zeitlich normiert:

- 45 sec. : Mischungsverhältnis nach Vorschrift mit
destilliertem Wasser ($23,0 \pm 0,5^{\circ} \text{C}$)
maschinell anrühren
- 30 sec. : Bestreichen des Abdrucklöffels und Abformung
mit wenig Druckanwendung
- 3 min. : Abbindezeit für Alginat

Danach wurde die Abformung mit möglichst kurzem Ruck entfernt, um die bei langsamen Hebeln auftretenden bleibenden Deformationen (REHBERG, 27) zu vermeiden. Die Abformung wurde in eine feuchte Serviette eingeschlagen und so 2 Minuten bis zum Beginn des Ausgießens gelagert. In feuchter Kammer erfährt die Alginatabformung nach SCHWINDLING (35) durch den

geringen Wasserverlust nur eine geringe lineare Kontraktion. Der Arbeitsgang der Modellherstellung entsprach der in Abschnitt 3.5. geschilderten Methode.

Die Diskussion der mit dieser Methode gewonnenen Meßergebnisse sei an dieser Stelle vorweggenommen.

Exemplarisch durchgeführte Versuchsreihen mit einigen Gipsen ergaben große Abweichungen innerhalb der Meßwerte für die einzelnen Strecken und innerhalb des Verhaltens der Meßstrecken zueinander. Diese Variationen ließen sich eindeutig auf Verzerrungen und bleibende Deformationen der Alginatabformung zurückführen. Nach Eliminierung anderer Faktoren ließ sich die Fehlerquelle auf die Abnahme der Abformung einengen.

Dadurch, daß vom Versuchsaufbau bedingt, der Urmodellsockel mit abgeformt werden mußte, war ein kurzzeitiges, schnelles Abheben der Abformung ohne Verkantung nicht möglich.

Die zu lang dauernden Verkantungen führten jedoch an den untersichgehenden Stellen und senkrechten Fräsungen zu bleibenden Deformationen, da hier das elastische Rückstellvermögen des Alginats überschritten wurde (27).

Die Versuche mit Alginatabformungen zeigten, daß hierbei keine Aussage über das Dimensionsverhalten der Gipse möglich war, weil deren relativ geringgradige Dimensionsänderung durch die hochgradigen abdruckbedingten Verzerrungen völlig verdeckt wurden. Die Folgerungen für das weitere Vorgehen bestanden erstens darin, Abformmaterialien mit größeren Rückstellvermögen zu verwenden und bzw. oder zweitens die zu den Abweichungen führende Abformmethodik zu ändern.

3.4.2. Herstellung eines Silikonabformblocks sowie Bestimmung seiner Dimensionsänderung

Die überlegenen Eigenschaften der Silikone als gummielastische Massen bestehen darin, daß sie größere Volumenkonstanz und Abdruckschärfe als Alginate zeigen und ihr Rückstellvermögen von allen Abformmaterialien am größten ist.

Dieses Rückstellvermögen verhindert erstens Deformationen während der Abformung und ermöglicht zweitens mehrmaliges exaktes Ausgießen. Für die Zwecke dieser Arbeit wurde eine von der WACKER-CHEMIE hergestellte Silikongießmasse benutzt. Diese Masse wurde in der Zahnklinik zur Herstellung von Schau- und Studienmodellen verwendet. Abdruckhohlformen aus dieser Masse können jahrelang aufbewahrt werden und mehrmals ausgegossen werden, ohne sich in Volumenkonstanz und Detailreproduktion zu verändern. Vorversuche zeigten, daß nur geringe Streuungen zwischen mehreren Gipsausgüssen einer solchen Form auftraten.

Die Silikongießmasse wird wie entsprechende zahnärztliche Fabrikate mit einem Härter angerührt. Sie hat eine dünnfließende Konsistenz, was der Abformschärfe dienlich ist. Das Urmodell wurde in einer entsprechenden Hohlform mit der Masse ümgossen. Die Schichtdicke betrug an allen Stellen mindestens 1,5 cm, um der Abformung eine genügende Standfestigkeit zu geben. Die Abbindezeit der angerührten Masse liegt bei 4 - 5 Std., entformt wurde das Urmodell aber erst nach 24 Std. Aushärungszeit. Die Konsistenz des fertigen Silikonausgusses war standfest genug, um auf eine feste Umfassung zu verzichten (Abb. 2). Eine Fixierung an der Wand des "Abdrucklöffels" hätte durch die Kontraktion des Silikons eine Verzerrung der Abformung zur Folge gehabt bzw. eine gleichmässige Materialkontraktion verhindert (MASSING, 21).

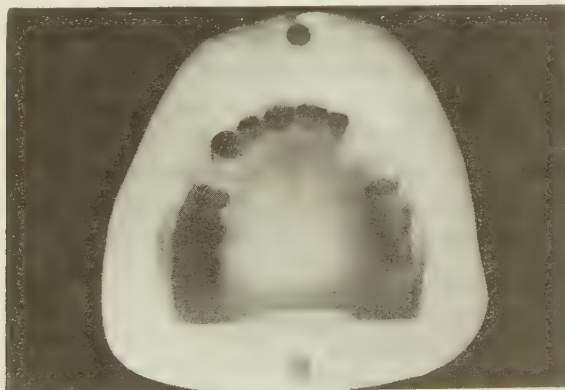


Abb. Nr. 3: Silikonabformung

Die schnellabbindenden zahnärztlichen Silikonmassen kontrahieren stark in den ersten 2 - 3 Stunden nach der Abbindung und sind nach 1 - 2 Tagen in ihrer Form konstant (SCHWINDLING, 37). Die Kontraktionswerte liegen zwischen 0,3 - 1 %, wobei dünnfließende Massen ca. zweimal stärker kontrahieren als viskös (REHBERG, 27).

Die Silikonmasse der WACKER-CHEMIE zeigt entsprechend der längeren Abbindezeit ein bedeutend langsames Kontraktionsverhalten. Formkonstanz in den Abmessungen des Abdrucknegativs wurde erst nach 15 Tagen erreicht. Das Vermessen des Abformnegativs erfolgte mit dem ZEISS-Meßmikroskop im Durchlichtverfahren. Das lichtdurchlassende, milchige Material ließ an den parallelgefrästen Meßkanten erkennbare Hell-Dunkel Kontraste erscheinen. Vermessen wurde die Unterkante der Vertikalfräsung, während an den Modellen die Oberkante vermessen wurde. Da sich die Parallelfraßungen senkrecht zur Sockelfläche des Modells und zur planen Aufstellfläche der Abformung befanden, konnte dies keinen Längenunterschied bewirken.

Die Abformung zeigte sich empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen und den Vibrationen auf einem Dental-Rüttler. Der Einfluß der Durchlichtbeleuchtung (24 Volt) und des maschinellen Rüttelns bewirkte eine feststellbare Expansion des Materials. Die Temperaturabhängigkeit wurde deshalb gesondert geprüft. Der Abformblock wurde mit Hilfe eines Wasserbades auf verschiedene Temperaturen eingestellt und vermessen. Die exakte Temperatur der Abformung konnte an einem in der Masse versenkten Thermostat abgelesen werden. Die Ergebnisse sind auf Tabelle 1 und Abb. 4 dargestellt. Sie zeigen, daß die Erwärmung der Silikonmasse um 1°C 0,019 mm Ausdehnung ergab, was 0,035 % linearer Expansion entspricht. REHBERG (27) gibt für Silikone einen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von 0,015 - 0,025 % auf 1°C an.

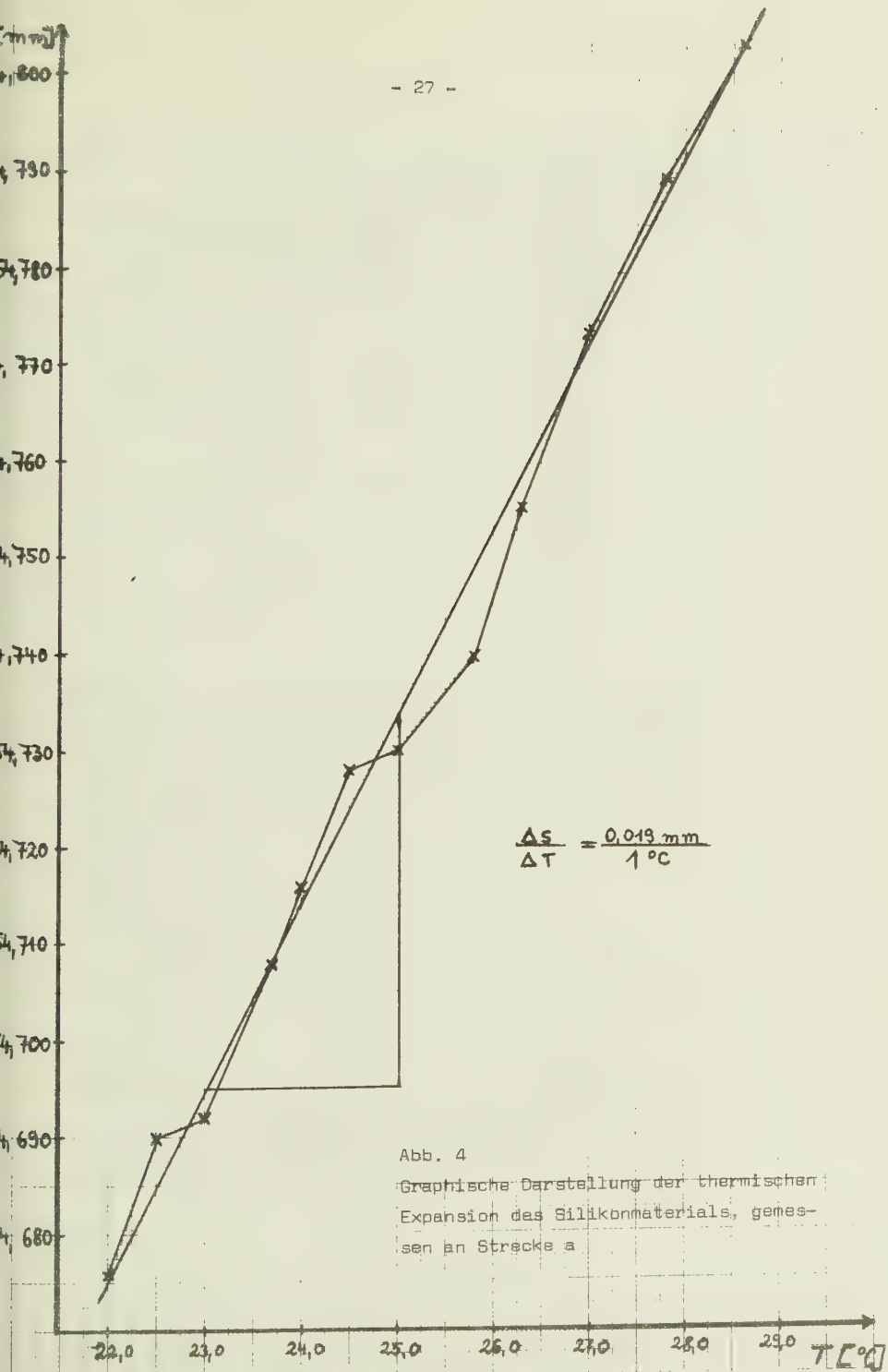


Abb. 4

Graphische Darstellung der thermischen Expansion des Silikonmaterials, gemessen an Strecke a

Tab. 1

(Meßraumtemperatur $23,0 \pm 1^{\circ} \text{C}$)

Temperatur der Abformung Länge der Strecke zw. 17 u. 27
($^{\circ} \text{C}$) (Urmodell: 54,980 mm)

22,0	54,676
22,5	54,690
23,0	54,692
23,7	54,708
24,0	54,716
24,5	54,728
25,0	54,730
25,8	54,740
26,3	54,756
27,0	54,774
27,8	54,790
28,6	54,804

Was den Einfluß des Rüttelns betrifft, konnte nicht abgeklärt werden, ob die resultierende Expansion kausal mit einer Erwärmung der Silikonmasse zusammenhängt. Der Unterschied zwischen Ruhezustand und aktiviertem Zustand nach Rütteln betrug ca. 0,02 - 0,04 % linear. Beide Faktoren mußten bei der Vermessung berücksichtigt werden. Um die Versuchsbedingungen bei der Modellherstellung zu simulieren wurde der Abformblock 15 min. lang im Wasserbad schwimmend aufbewahrt (bei $23,0^{\circ} \text{C}$) und danach, unmittelbar vor der Vermessung, konstant 30 sec. lang mechanisch gerüttelt. Die Vermessung der Abformung ergab in den ersten 5 Tagen nach dem Ausguß eine starke Kontraktion, die sich im weiteren Verlauf einem Grenzwert näherte. Die Silikonmasse zeigte also, zeitlich verzögert, denselben Kontraktionsverlauf, wie aus Versuchen über zahnärztliche Silikonabformmassen bekannt (SCHWINDLING, 37). Nach dem Stillstand des Schrumpfungsprozesses wurde die Hohlform drei Tage lang in allen drei Meßstrecken je dreimal vermessen (Tab. 2).

Tab. 2

Längenvermessung der Abdruckhohlform vor Versuchsbeginn (in mm)

M e ß s t r e c k e		
a	b	c
54,692	41,692	29,350
54,690	41,694	29,354
54,700	41,702	29,358
54,694	41,690	29,358
54,692	41,686	29,354
54,696	41,700	29,360
54,692	41,690	29,352
54,696	41,698	29,358
54,686	41,688	29,352
Mittelwert vor Versuchsbeginn		
54,693	41,693	29,355

Tab. 3

Längenvermessung der Abdruckhohlform bei Versuchsende (in mm)

M e ß s t r e c k e		
a	b	c
54,682	41,696	29,358
54,686	41,704	29,362
54,682	41,700	29,364
54,690	41,708	29,366
54,692	41,704	29,362
54,684	41,698	29,360
54,678	41,694	29,358
54,682	41,698	29,358
54,692	41,704	29,364
Mittelwert bei Versuchsende		
54,685	41,701	29,361

Tab. 4

Zusammenstellung der Abformungsmittelwerte

	a	b	c
Größe Urmodell (mm)	54,980	41,922	29,522
Abformung Mittelwert bei Versuchsbeginn und Standardabweichung	54,693 $\pm 0,004$	41,693 $\pm 0,0056$	29,355 $\pm 0,0035$
lineare Schrumpfung und Standardabweichung in (%)	0,52 $\pm 0,01$	0,55 $\pm 0,01$	0,57 $\pm 0,01$
Abformung Mittelwert bei Versuchsende und Standardabweichung	54,685 $\pm 0,005$	41,701 $\pm 0,0046$	29,361 $\pm 0,004$
lineare Schrumpfung und Standardabweichung in (%)	0,54 $\pm 0,01$	0,53 $\pm 0,01$	0,55 $\pm 0,01$
Gesamtmittelwert (mm) und Standardabweichung	54,689 $\pm 0,0059$	41,697 $\pm 0,0062$	29,358 $\pm 0,0045$
lineare Schrumpfung und Standardabweichung in (%)	0,53 $\pm 0,01$	0,54 $\pm 0,015$	0,56 $\pm 0,015$

Setzt man die in Tab. 2 und 3 gewonnenen Mittelwerte zu den Längen des Urmodells in Bezug, erhält man die lineare Schrumpfung der Silikonabformung. Um die Streuung der Werte größenordnungsmäßig zu erfassen, wurde außerdem die Standardabweichung vom jeweiligen Mittelwert bestimmt.

(Tab. 4) Die Werte zeigen, daß sich die Abformung während der sechswöchigen Versuchsdauer um 0,02 % deformiert hat und die Gesamtmittelwerte eine Standardabweichung von maximal 0,015 % haben.

Um zu prüfen, ob erstens zwischen den Ergebnissen der 6 Meßtage und zweitens zwischen den Mittelwerten von Versuchsanfang und Versuchsende ein statistisch nachzuweisender Unterschied besteht, wurde eine einfache Varianzanalyse durchgeführt.

Nachstehend sind die berechneten F-Werte aufgeführt:

Vergleich der Einzelmittelwerte	Meßstrecke a :	0,30
der 6 Meßtage	" b :	1,60
	" c :	0,30
Vergleich der Mittelwerte von	Meßstrecke a :	0,00
Versuchsanfang und Versuchs-	" b :	2,76
ende	" c :	0,14

Die F-Werte zeigen, daß zwischen den Meßgruppen keine signifikanten Unterschiede bestehen. Der Gesamtmittelwert aller Meßtage wurde deshalb als Ausgangsmaß für die Expansionsbestimmung der zu untersuchenden Gipse zu Grunde gelegt.

Ein weiteres auffallendes Ergebnis der Kontraktionsmessungen ist die fast gleichmäßige lineare Schrumpfung in allen Strecken. Die Schrumpfungsgröße entspricht mit 0,53 - 0,56 % der Größenordnung, die auch bei zahnärztlichen Silikonabformmassen auftreten.

Durch das Bestimmen der Meßstrecken im Abformnegativ ergibt sich die Möglichkeit, das Dimensionsverhalten der verschiedenen Gipse in seinen absoluten Größen zu errechnen. Es ist damit überflüssig, die nur relative Aussage der Dimensionsänderung zwischen Urmodell und Gipsmodell zu bestimmen.

3.5. Die Methodik zur Herstellung der Prüfkörper

Die Angaben der einzelnen Autoren über Versuchsbedingungen und Prüfformen bei der Werkstoffprüfung von dentalen Gipsprodukten sind uneinheitlich. Dies liegt am Fehlen einer deutschen und internationalen Standardisierung der Prüfbedingungen. Für den nationalen Bereich der USA gibt es in der ADA-Spezifikation Nr. 25 für dentale Gipsprodukte (1) eine solche Prüfnorm. Soweit es für den Zweck dieser Arbeit möglich war, wurden die dort enthaltenen Prüfvorschriften übernommen.

Die Herstellung von Silikonabformung und Gipsmodellen und die Prüfung selbst erfolgte bei einer Raumtemperatur von $23,0 \pm 1^{\circ} \text{C}$ und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 - 60 %. (ADA-Norm: $23,0 \pm 2^{\circ} \text{C}$, $50 \pm 10 \%$).

Die Ausrüstung und das Material soll dieser Temperatur und dieser Feuchtigkeit mindestens 10 Std. vor Testbeginn ausgesetzt sein.

Die zu prüfenden Materialien wurden in 4,5 kg Mengen beim Dentalhandel bestellt, bzw. falls in der Klinik vorrätig, dort abgepackt. Bevor die Gipsproben abgewogen wurden, erfolgte eine Durchmischung des Materials im Behälter.

Es wurden jeweils 100 g eines Gipses mit einer elektrischen Waage auf $\pm 0,1$ g genau abgewogen. Die Anmischung erfolgte mit destilliertem Wasser (Ausnahme: SR-IVOCAP Modell-Material wurde mit einer mitgelieferten speziellen Flüssigkeit angerührt), das eine Temperatur von $23,0 \pm 0,5^{\circ} \text{C}$ aufwies. Das Wasser-Pulver-Verhältnis wurde in dem vom Hersteller angegebenen Verhältnis gehalten.

Bei MOLDABASTER war keine Verarbeitungsanleitung zu erhalten; das W/P Verhältnis wurde entsprechend dem anderen Modellgips NON PLUS ULTRA und der von MEERKATZ (22) nach der ADA-Spezifikation Nr. 25 ermittelten Standardkonsistenz gewählt (Tab. 5).

Auch die Wassermenge wurde auf $\pm 0,1$ g genau abgewogen.

Tab. 5

	W/P Verhältnis, Wasserfaktor (g Wasser / g Gips)		
	für die Versuchs- reihe	nach Gebrauchs- anleitung	nach Standard- konsistenztest (MEERKATZ, 22)
BEGODUR	0,25	0,25	-
VELMIXSTONE	0,25	0,22 - 0,25	0,245
MOLDAROC	0,273	0,273 für große Härte	0,293 0,231
DUROC	0,24	0,24 für große Härte 0,18 - 0,20	0,257
TEWESTONE	0,23	0,23 $\pm$ 0,01	-
ALPHA-DUR	0,24	0,24 $\pm$ 0,01	-
RAPIDUR	0,23	0,20 - 0,25	0,29
MOLDANO	0,30	0,30	0,286
WIPO-GRANIT	0,33	0,33	-
NON-PLUS-ULTRA	0,50	bis 0,50	0,476
MOLDABASTER	0,50	-	0,475
SR-IVOCAP Modell-Material	0,286	0,286	-

Das Anrührverfahren wurde entgegen der ADA-Spez. Nr. 25 maschinell durchgeführt. Das dort geforderte manuelle Durchmischen "mit einem abgerundeten, steifen Spatel, 1 min. lang mit einer Rührgeschwindigkeit von 120 Umdrehungen pro min." ist dem Mischen mittels Vakuumrührgerät in Bezug auf Homogenität und Konstanz der Mischung unterlegen.

Verwendet wurde das HERBST-MOTOVA Vakuumrührgerät.

Das abgewogene Wasser wurde in einem kleinen Hartgummi-becher (spez. für das Rühren von Hartgipsen unter Vakuum) eingefüllt. 100 g Gips wurden unter Rütteln in den Becher eingestreut. "Dieser Mischung gestattet man, das Wasser für 30 sec. aufzusaugen (1)." Es darf kein Überstand an Pulver bleiben. Daraufhin wurde der Gipsbrei 30 sec. lang unter Vakuum gerührt (30 sec. ist die in der Literatur und den Verarbeitungsanleitungen am häufigsten genannte Zeit). Die Silikonabformung lagerte bis zu diesem Zeitpunkt mindestens 15 min. lang in einem auf 23,0° C eingestelltem Wasserbad, bis sich die im Kern des Abdrucknegativs gemessene Temperatur auch auf diesen Wert eingestellt hatte. Der Abformblock wurde schwimmend im Wasserbad aufbewahrt, damit der auszugießende Teil wasserfrei war. Der Gipsbrei wurde 30 sec. lang unter maschinellem Rütteln in die Abformung gegossen. Der Gipsüberstand wurde danach unter geringster Druckanwendung mit einem Messer weggestrichen, damit das Modell eine glatte Sockelunterfläche bekam, ohne dabei verzerrt zu werden.

Entformt wurden die Modelle mit Beendigung der Abbindezeit. Die teilweise unrichtigen Zeitangaben der Hersteller wurden hierbei nicht berücksichtigt. Unter den äußerst unterschiedlichen Definitionen der Abbindezeit wurde die von SCHWINDLING (35) gewählt, der den Abbindeschluß als Erreichen der maximalen Abbindetemperatur definiert. Die Werte der hier untersuchten Gipse variierten zwischen 12 und 25 min.

3.6. Versuchsdurchführung

Nach der beschriebenen Methode wurden von jeder Gipssorte 5 Modelle hergestellt. Die Vermessung der Modelle erfolgte jeweils 24 Std. später.

Zu den 12 Versuchsreihen mit je 5 Vollaussgüssen wurde eine Zusatzversuchsreihe durchgeführt.

Ausgehend von der Frage, ob das Expansionsverhalten der Spezialhartgipse noch weiter vermindert werden kann, wenn weniger Modellmasse verwendet wird (positive Untersuchungen dazu bei KNAB (12) und PANTKE (24) wurde die Abformung nur zu ca. 30 % ausgegossen, so daß gerade die Zahnreihen und das Zahnfleisch bedeckt waren. Erst nach 3 Std. Erhärtungszeit wurde der Modellsockel mit Alabastergips aufgefüllt. Retentionsringe dienten zur Verbindung beider Massen. Die lange Erhärtungszeit mußte eingehalten werden, da Vorversuche gezeigt hatten, daß die Zugabe des Modellgipses direkt nach der primären Versteifung Expansionswerte bewirkte, die eher im Bereich der Modellgipse als der Stonegipse lagen. In dieser Versuchsreihe wurden 5 partielle Stonegipsausgüsse aus BEGODUR hergestellt.

Sämtliche Modelle wurden auf die in Abschnitt 3.3. beschriebene Art und Weise in ihrer Länge vermessen.

Beim Vermessen der Gipsmodelle mußte im Vergleich zum Urmodell aus Kunststoff ein etwas größerer Ablesefehler in Kauf genommen werden. Beim mehrmaligen Vermessen des oberflächenglatten und scharfkantigen Kunststoffmodells lag die Streuung der Werte innerhalb $\pm 0,002$ mm.

Bei den Gipsmodellen wurden Abweichungen bis zu $\pm 0,004$ mm erzielt. Zwischen den einzelnen Fabrikaten ergab es erkennbare Unterschiede in der Kantendarstellung. Eine genaue und scharfe Reproduktion erfolgte bei den Fabrikaten: BEGODUR, MOLDANO, NON-PLUS-ULTRA, RAPIDUR, TEWESTONE, VELMIXSTONE und WIPOGRANIT. Etwas schlechter war die Reproduktion bei ALPHA-DUR, DUROC, MOLDABASTER und SR-IVOCAP Modellmaterial. Die schlechteste Kantenschärfe hatten die MOLDAROC-Modelle.

Das bei MOLDAROC vom Hersteller angegebene W/P Verhältnis ergab eine zu zähe Konsistenz von kurzer Verarbeitungsbreite. Die daraus resultierende schlechte Fließfähigkeit, auch unter Vibration, mag für die ungenaue Detailreproduktion verantwortlich sein. Auf Grund der zu kurzen Verarbeitungszeit mußte, als einzige Ausnahme, die Anmischzeit von 30 auf 20 sec. reduziert werden. Dies senkte die bei steiferer Konsistenz ohnehin schlechtere Homogenität einer Mischung noch weiter.

Die Untersuchungen von PANTKE (25) über die Oberflächenglätte von Modellmaterialien bestätigen die visuell gefundenen Unterschiede in der Kantenschärfe. Er ermittelte mittels eines Rautasters Unterschiede in der Oberflächenstruktur von $\pm 0,001$ mm bei dem Kunststoff PALAVIT M, $\pm 0,003$ mm bei MOLDANO und $\pm 0,006$ mm bei DUROC.

Wie in Abschnitt 3.4.2. beschrieben, wies die elastomere Abformung durch geringe Forminkonstanz eine Standardabweichung von $\pm 0,004 - 0,006$ mm auf. Dieser Wert zum Ablesefehler addiert, ergibt die Meßungenauigkeit. Sie beträgt $\pm 0,006 - 0,010$ mm, oder in Prozentlinear ausgedrückt $\pm 0,02$ % bei den Meßstrecken a und b, bzw. $\pm 0,03$ % bei der Meßstrecke c.

4. MESSERGEBNISSE

Tab. 6

Dimensionsverhalten von BEGODUR

Meßstrecke	a		b		c	
	mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge	54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell 1	0,061	0,11	0,061	0,15	0,014	0,05
" "	2 0,051	0,09	0,059	0,14	0,018	0,06
" "	3 0,049	0,09	0,041	0,10	0,012	0,04
" "	4 0,053	0,10	0,041	0,10	0,020	0,07
" "	5 0,049	0,09	0,041	0,10	0,018	0,06
Mittelwert	x +0,053	+0,10	+0,049	+0,12	+0,016	+0,05
Standardabweichung	s ±0,005	±0,01	±0,010	±0,025	±0,003	±0,01

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichungen:

$$0,09 \pm 0,03 \% \text{ lin.}$$

Tab. 7

Dimensionsverhalten von VELMIXSTONE

Meßstrecke	a		b		c	
	mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge	54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell 1	0,073	0,13	0,067	0,16	0,026	0,09
" "	2 0,095	0,17	0,085	0,20	0,024	0,08
" "	3 0,073	0,13	0,075	0,18	0,022	0,08
" "	4 0,075	0,14	0,083	0,20	0,028	0,10
" "	5 0,085	0,16	0,075	0,18	0,016	0,06
Mittelwert	x +0,080	+0,15	+0,077	+0,18	+0,023	+0,08
Standardabweichung	s ±0,010	±0,02	±0,007	±0,02	±0,005	±0,015

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,14 \pm 0,05 \% \text{ lin.}$$

Tab. 8

Dimensionsverhalten von MOLDAROC

Meßstrecke		a		b		c	
		mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge		54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung	Modell 1	0,127	0,23	0,123	0,29	0,036	0,12
"	" 2	0,133	0,24	0,137	0,33	0,032	0,11
"	" 3	0,126	0,23	0,125	0,30	0,038	0,13
"	" 4	0,119	0,22	0,105	0,25	0,022	0,08
"	" 5	0,117	0,21	0,107	0,26	0,038	0,13
Mittelwert	x	+0,124	+0,23	+0,119	+0,28	+0,033	+0,11
Standardabweichung	s	±0,006	±0,01	±0,013	±0,03	±0,007	±0,02

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,21 \pm 0,08 \% \text{ lin.}$$

Tab. 9

Dimensionsverhalten von DURAC

Meßstrecke			a		b		c		
			mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.	
Ausgangslänge			54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00	
Änderung Modell 1			0,027	0,05	0,063	0,15	0,002	0,01	
"	"	2	0,035	0,06	0,049	0,12	-0,006	-0,02	
"	"	3	0,025	0,05	0,033	0,08	0,006	0,02	
"	"	4	0,033	0,06	0,057	0,14	-0,014	-0,05	
"	"	5	0,045	0,08	0,063	0,15	0,000	0,00	
Mittelwert			x	+0,033	+0,06	+0,053	+0,13	-0,002	-0,01
Standardabweichung			s	$\pm 0,008$	$\pm 0,015$	$\pm 0,013$	$\pm 0,03$	$\pm 0,008$	$\pm 0,025$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,06 \pm 0,06 \% \text{ lin.}$$

Tab. 10

Dimensionsverhalten von TEWESTONE

Meßstrecke		a		b		c	
		mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge		54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1	0,073	0,13	0,087	0,21	0,046	0,16
"	" 2	0,103	0,19	0,107	0,26	0,048	0,16
"	" 3	0,107	0,20	0,107	0,26	0,038	0,13
"	" 4	0,119	0,22	0,125	0,30	0,052	0,18
"	" 5	0,133	0,24	0,147	0,35	0,058	0,20
Mittelwert	x	+0,107	+0,20	+0,115	+0,27	+0,048	+0,16
Standardabweichung	s	$\pm 0,022$	$\pm 0,04$	$\pm 0,023$	$\pm 0,055$	$\pm 0,007$	$\pm 0,025$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,21 \pm 0,06 \% \text{ lin.}$$

Tab. 11

Dimensionsverhalten von ALPHA-DUR

Meßstrecke		a		b		c	
		mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge		54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1	0,101	0,19	0,091	0,22	0,014	0,05
"	" 2	0,111	0,20	0,107	0,26	0,020	0,07
"	" 3	0,121	0,22	0,103	0,25	0,016	0,06
"	" 4	0,125	0,23	0,115	0,28	0,024	0,08
"	" 5	0,087	0,16	0,081	0,19	0,000	0,00
Mittelwert	x	+0,109	+0,20	+0,099	+0,24	+0,015	+0,05
Standardabweichung	s	$\pm 0,015$	$\pm 0,03$	$\pm 0,013$	$\pm 0,03$	$\pm 0,09$	$\pm 0,03$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,16 \pm 0,105 \% \text{ lin.}$$

Tab. 12

Dimensionsverhalten von RAPIDUR

Meßstrecke			a		b		c	
			mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge			54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1		0,073	0,13	0,075	0,18	0,026	0,09
"	"	2	0,063	0,12	0,077	0,19	0,028	0,10
"	"	3	0,047	0,09	0,059	0,14	-0,002	-0,01
"	"	4	0,065	0,12	0,057	0,14	0,030	0,10
"	"	5	0,057	0,10	0,059	0,14	0,020	0,07
Mittelwert	x		+0,061	+0,11	+0,065	+0,16	+0,020	+0,07
Standardabweichung	s		±0,010	±0,02	±0,010	±0,025	±0,013	±0,045

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,11 \pm 0,045 \% \text{ lin.}$$

Tab. 13

Dimensionsverhalten von MOLDANO

Meßstrecke			a		b		c	
			mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge			54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1		0,105	0,19	0,097	0,23	0,030	0,10
"	"	2	0,111	0,20	0,099	0,24	0,036	0,12
"	"	3	0,117	0,21	0,099	0,24	0,036	0,12
"	"	4	0,107	0,20	0,081	0,19	0,008	0,03
"	"	5	0,115	0,21	0,099	0,24	0,026	0,09
Mittelwert	x		+0,111	+0,20	+0,095	+0,23	+0,027	+0,09
Standardabweichung	s		±0,005	±0,01	±0,008	±0,02	±0,012	±0,04

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,17 \pm 0,065 \% \text{ lin.}$$

Tab. 14

Dimensionsverhalten von WIPO-GRANIT

Meßstrecke		a		b		c	
		mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge		54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1	0,117	0,21	0,117	0,28	0,058	0,20
"	" 2	0,129	0,24	0,119	0,29	0,050	0,17
"	" 3	0,139	0,25	0,133	0,32	0,050	0,17
"	" 4	0,117	0,21	0,137	0,33	0,038	0,13
"	" 5	0,121	0,22	0,123	0,29	0,058	0,20
Mittelwert	x	+0,125	+0,23	+0,126	+0,30	+0,051	+0,17
Standardabweichung	s	$\pm 0,009$	$\pm 0,015$	$\pm 0,009$	$\pm 0,02$	$\pm 0,008$	$\pm 0,03$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,23 \pm 0,06 \% \text{ lin.}$$

Tab. 15

Dimensionsverhalten von NON-PLUS-ULTRA

Meßstrecke		a		b		c	
		mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge		54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell	1	0,141	0,26	0,137	0,33	0,052	0,18
"	" 2	0,153	0,28	0,161	0,39	0,058	0,20
"	" 3	0,163	0,30	0,157	0,38	0,062	0,21
"	" 4	0,137	0,25	0,149	0,36	0,044	0,15
"	" 5	0,159	0,29	0,163	0,39	0,056	0,19
Mittelwert	x	+0,151	+0,28	+0,153	+0,37	+0,054	+0,18
Standardabweichung	s	$\pm 0,011$	$\pm 0,02$	$\pm 0,011$	$\pm 0,025$	$\pm 0,007$	$\pm 0,02$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,28 \pm 0,08 \% \text{ lin.}$$

Tab. 16

Dimensionsverhalten von MOLDABASTER

Meßstrecke	a		b		c	
	mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge	54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell 1	0,159	0,29	0,155	0,37	0,052	0,18
" " 2	0,131	0,24	0,141	0,34	0,068	0,23
" " 3	0,157	0,29	0,155	0,37	0,066	0,23
" " 4	0,135	0,25	0,151	0,36	0,046	0,16
" " 5	0,147	0,27	0,157	0,38	0,070	0,24
Mittelwert x	+0,146	+0,27	+0,152	+0,36	+0,060	+0,20
Standardabweichung s	$\pm 0,013$	$\pm 0,02$	$\pm 0,006$	$\pm 0,015$	$\pm 0,011$	$\pm 0,035$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,28 \pm 0,095 \% \text{ lin.}$$

Tab. 17

Dimensionsverhalten von SR-IVOCAP MODELLMATERIAL

Meßstrecke	a		b		c	
	mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge	54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell 1	0,183	0,34	0,195	0,47	0,066	0,23
" " 2	0,201	0,37	0,181	0,43	0,076	0,26
" " 3	0,211	0,39	0,189	0,45	0,084	0,29
" " 4	0,213	0,39	0,183	0,44	0,076	0,26
" " 5	0,217	0,40	0,185	0,44	0,104	0,35
Mittelwert x	+0,205	+0,37	+0,187	+0,45	+0,081	+0,28
Standardabweichung s	$\pm 0,014$	$\pm 0,025$	$\pm 0,006$	$\pm 0,015$	$\pm 0,014$	$\pm 0,05$

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

$$0,37 \pm 0,08 \% \text{ lin.}$$

Tab. 18

Dimensionsverhalten von partiellen Ausgüssen (BEGODUR)

Meßstrecke	a		b		c	
	mm	% lin.	mm	% lin.	mm	% lin.
Ausgangslänge	54,689	0,00	41,697	0,00	29,358	0,00
Änderung Modell 1	0,031	0,06	0,065	0,16	-0,002	-0,01
" "	2	0,065	0,12	0,087	0,21	0,018
" "	3	0,057	0,10	0,071	0,17	0,006
" "	4	0,049	0,09	0,057	0,14	0,020
" "	5	0,051	0,09	0,053	0,13	0,008
Mittelwert	x	+0,051	+0,09	+0,067	+0,16	+0,010
Standardabweichung	s	±0,013	±0,025	±0,013	±0,03	±0,009

Gesamtmittelwert aller Messungen mit Standardabweichung:

0,09 ± 0,06 % lin.

Abb. 5

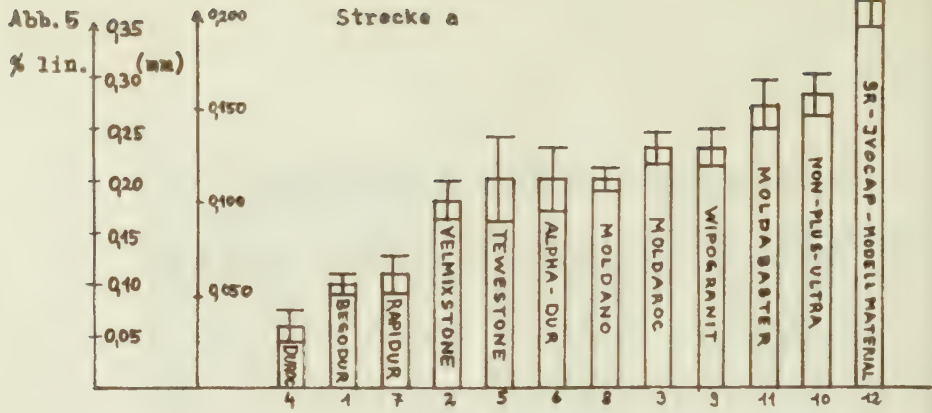


Abb. 6

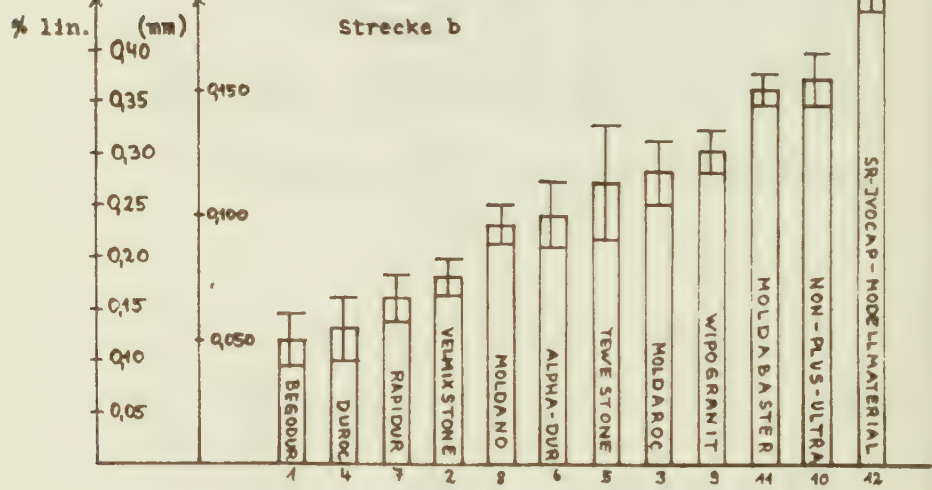


Abb. 7

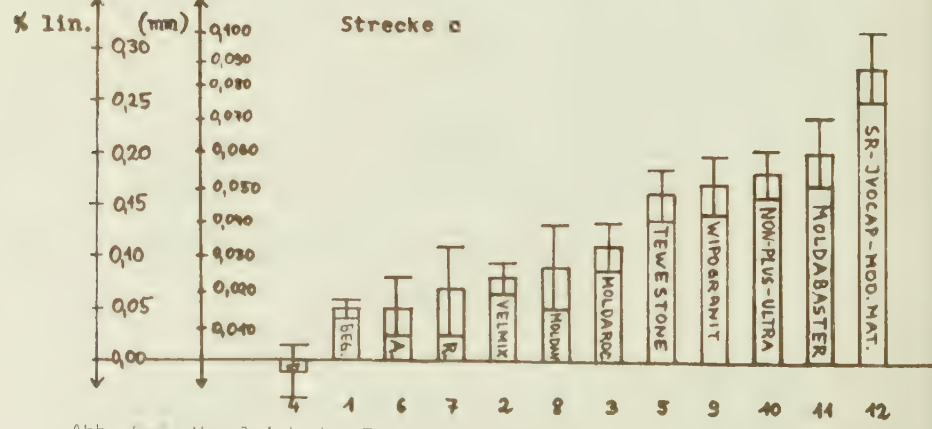


Abb. 5 - Vergleich der Expansionsmittelwerte u. Standardabweichungen der Gipse an den einzelnen Meßstrecken

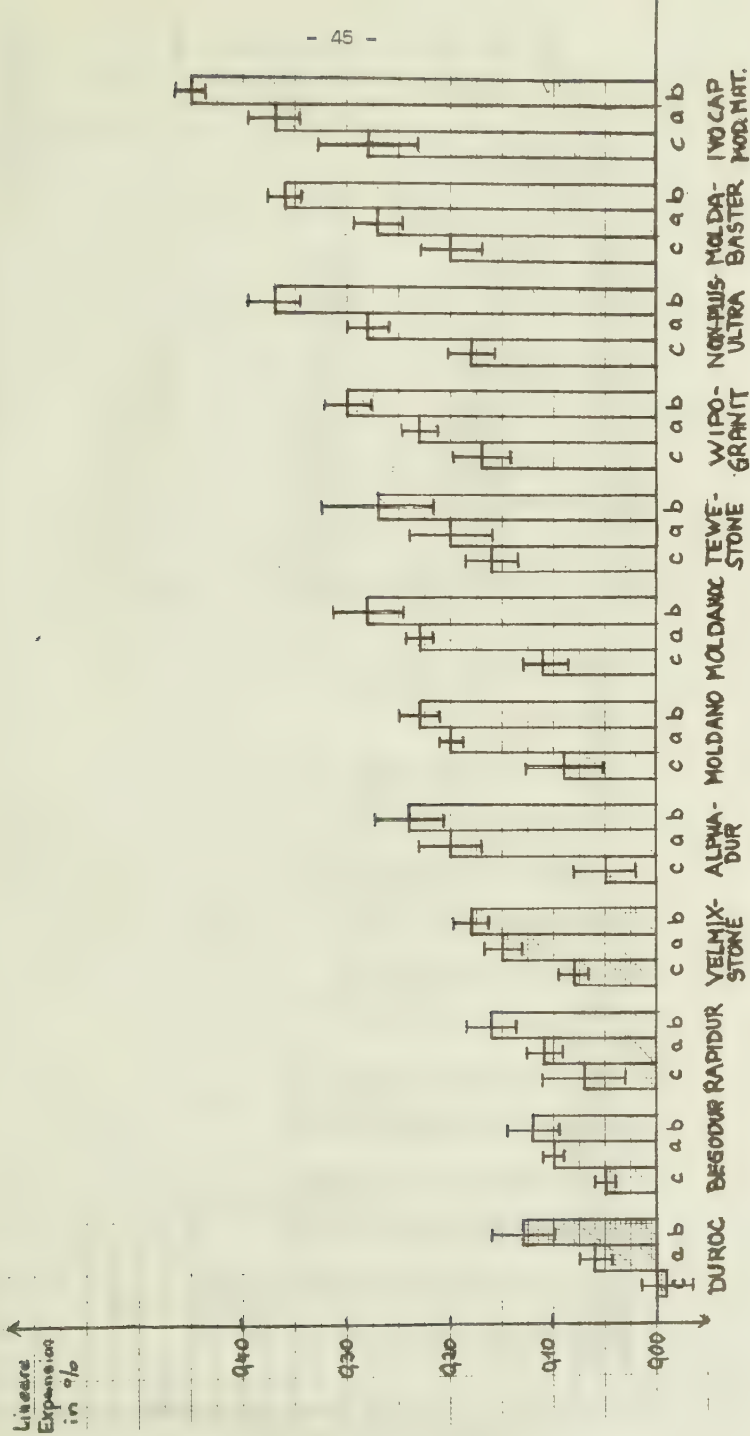


Abb. 8 Zusammenstellung der Streckenmittelwerte für alle Gipse

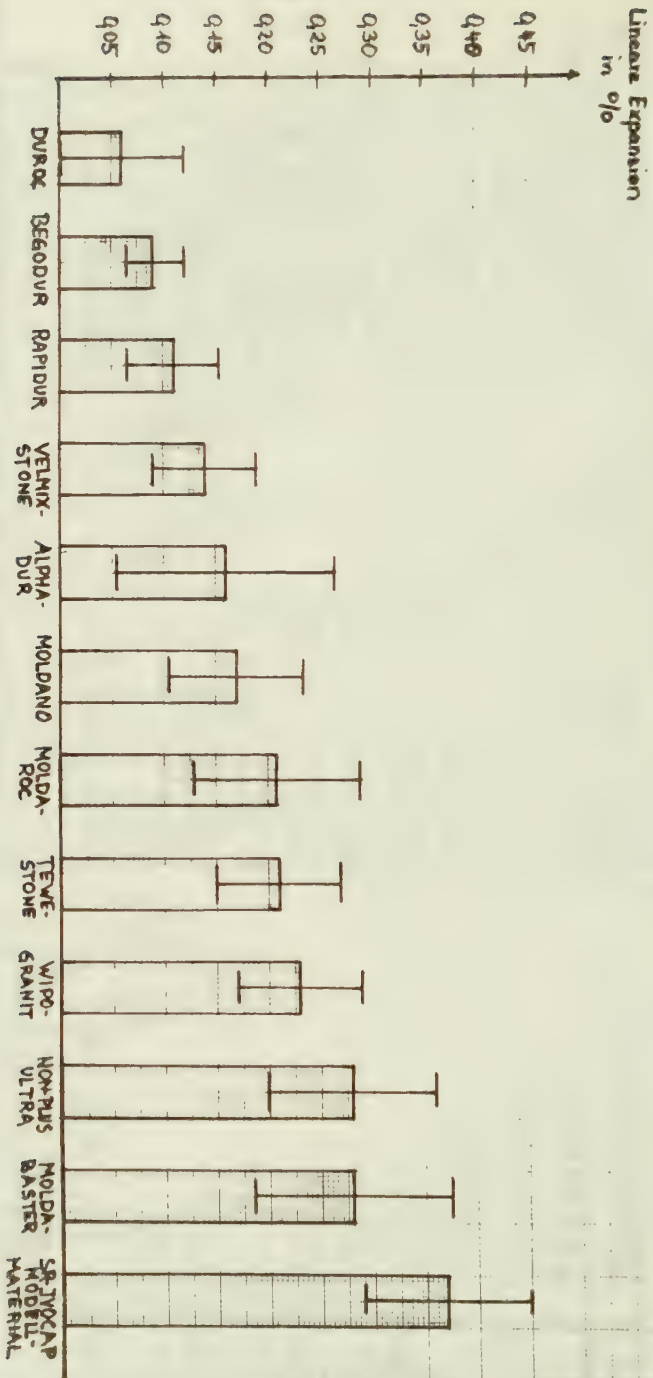


Abb. 9 Darstellung der Gesamtmittelwerte aus allen Messungen pro Gipsprodukt

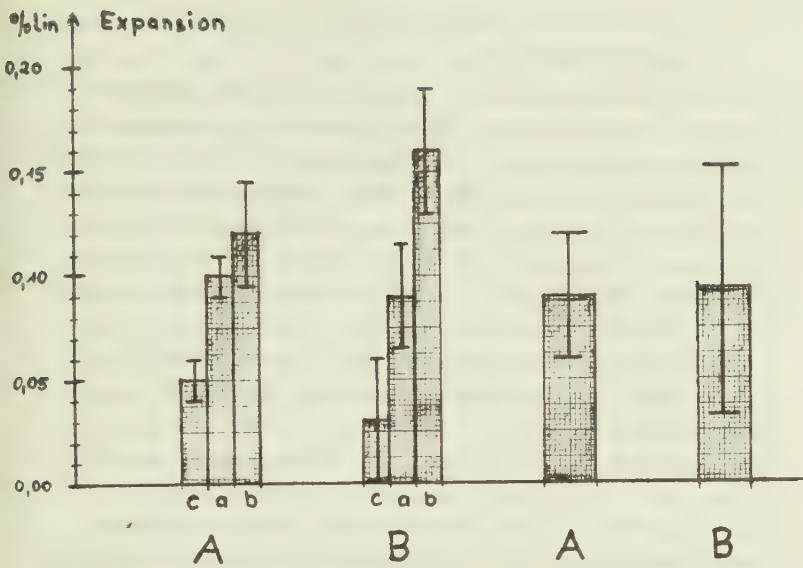


Abb. 10

Vergleichende Darstellung der Expansionsmittelwerte und Standardabweichungen bei Modellen aus BEGODUR, die:

A : zu 100 % mit BEGODUR ausgegossen wurden

B : zu 30 % mit BEGODUR ausgegossen wurden (Zahnreihen-
ausguß) und später gesockelt wurden.

5. STATISTISCHE AUSWERTUNG

5.1. Die graphische Darstellung der Mittelwerte und Standardabweichungen

Wie in den Tabellen 6 - 18 ersichtlich, wurde aus den gefundenen Einzelwerten der Dimensionsänderung, pro Gips und pro Strecke getrennt, der Mittelwert $\bar{x}$ und dessen Streuung in Form der Standardabweichung s bestimmt. Um die Ergebnisse an den verschieden langen Meßstrecken a , b , und c miteinander vergleichen zu können, wurde gleichzeitig das Verhältnis von Längenänderung zur Ausgangslänge in linearen Prozentwerten ermittelt.

In Abb. 5, 6 und 7 sind für die Meßstrecken getrennt die $\bar{x}$ und s Mittelwerte in der Reihenfolge steigender Expansion angeordnet.

Abb. 8 vergleicht die prozentualen linearen Expansionsmittelwerte der 3 Meßstrecken für jedes einzelne Gipsprodukt. Die für alle Mittelwerte in Abb. 5 - 8 angeführte Standardabweichung ist ein Maß für die Konstanz der Versuchsbedingungen und die Zuverlässigkeit (Standard) eines Produktes.

Schließlich kann man aus allen Einzelwerten pro Gipsprodukt dessen prozentuale Gesamtausdehnung bestimmen (Tab. 6 - 18, Abb. 9). Die dort angegebenen Standardabweichungen sind weniger auf die relativ geringen Abweichungen innerhalb der Meßstreckenwerte zurückzuführen, sondern vor allem auf die großen Varianzen zwischen den Meßstreckenmittelwerten, wie aus Abb. 8 ersichtlich ist.

5. 2. Die Varianzanalyse

Es war das Anliegen dieser Arbeit, den Einfluß zweier Faktoren zu untersuchen, die auf die Abbindeexpansion von Gipsmodellen einwirken: erstens den Einfluß der 12 Gipsfabrikate und zweitens den Einfluß der 3 verschiedenen dimensionierten Meßstrecken. Will man wissen, ob beide Variabilitäten einen Einfluß auf die Größe der Abbindeexpansion haben, muß man versuchen, beide Einflüsse voneinander und außerdem vom Zufallseinfluß zu trennen. Dies geschieht mit Hilfe der so-

nannter doppelten Variananalyse (14).

Demnach bestand die Aufgabe in der Prüfung, ob:

erstens zwischen den mittleren prozentualen Expansionswerten bei den 12 Gipsprodukten statistisch signifikante Unterschiede bestehen,

zweitens zwischen den Mittelwerten der 3 Meßstrecken signifikante Unterschiede bestehen, und

drittens eine Wechselwirkung der beiden Faktoren nachweisbar ist.

Auf das statistische Verfahren sei nur kurz eingegangen, soweit es dem Verständnis der Ergebnistabelle (Tab. 19) dient. In Spalte 1, Zeile 1 - 3 sind die erwähnten Variationsursachen aufgeführt. Die Reststreuung (Zeile 4) steht für den bei dem Meßvorgang entstandenen Versuchsfehler, d.h., die Streuung innerhalb der einzelnen Zellen, die aus den jeweils 5 Meßwerten bestehen.

Die Spalte 2 enthält die für jeden Einfluß entsprechenden Anteile an der Gesamtstreuung (Zeile 5), in Form der Summe der Abweichungsquadrate zwischen den entsprechenden Mittelwerten.

Die Anzahl der Freiheitsgrade der 3. Spalte entspricht der um 1 verminderten Anzahl der Abweichungsquadrate. Dabei ist für die Gipse die Anzahl der Klassen $r = 12$, für die Meßstrecken $s = 3$ und für die Reststreuung die Anzahl der Wiederholungen pro Zelle $m = 5$. Die Summe aller Meßwerte ist $n = 180$.

Die Division der Summe der Abweichungsquadrate durch die Freiheitsgrade führt zu den mittleren Abweichungsquadraten (Spalte 4), die das eigentliche Streuungsmaß darstellen.

Die F-Werte in Spalte 5 werden berechnet als Quotient der MAQ der beteiligten Variationsursachen durch die Reststreuung. Es wird damit geprüft, ob die Streuungsanteile der beteiligten Variationen wesentlich größer sind, als nach der Versuchsstreuung zu erwarten wäre. Die Beurteilung der berechneten F-Werte erfolgt durch Vergleich mit tabellierten Werten der F-Verteilung. Dieser Vergleich kann auf dem 1 % Niveau der

Irrtumswahrscheinlichkeit ($p = 0,01$) und auch dem 5 % Niveau ($p = 0,05$) erfolgen. Ist der berechnete F-Wert größer als der Tabellenwert für $p = 0,01$, handelt es sich um ein statistisch signifikantes Ergebnis, d.h. zwischen den jeweiligen Mittelwerten der Einflußgrößen oder der Wechselwirkung bestehen wesentliche Unterschiede. Wird der kleinere Tabellenwert für $p = 0,05$ überschritten, spricht man von einem statistisch auffälligen Ergebnis (Spalte 6).

Tab. 1

Tafel der doppelten Varianzanalyse

	1	2	3	4	5	6
beteiligte Variations- ursachen	Summe der Anzahl der Abweichgs- Quadrate (SAQ)	Freiheits- grade (FG)	Mittlere Abweichgs- Quadrate (MAQ)	F-Wert	Burteilung + auffällig ++ signifi- kant	
1 zwischen den 12 Materialien	1,28940	11	0,11722	160,56	++	
zwischen den 3 Strecken	0,56081	2	0,28040	384,11	++	
Wechselwir- kung zw. Material u. Meßstrecke	0,06453	22	0,00293	4,01	++	
: Reststreu- ung	0,10582	144	0,00073			
Gesamt	2,02056	179				

5.3. Die Ergebnisse der doppelten Varianzanalyse

Die den Tabellen entnommenen Werte für die F-Verteilung mit den entsprechenden Freiheitsgraden und Irrtumswahrscheinlichkeiten betragen:

F 1 (1 % ; 11,144) : 2,37	F 1 (5 % ; 11,144) : 1,85
F 2 (1 % ; 2,144) : 4,75	F 2 (5 % ; 2,144) : 3,06
F 3 (1 % ; 22,144) : 1,96	F 3 (5 % ; 22,144) : 1,62

Der Vergleich mit den errechneten F-Werten (Tab. 19, Spalte 5) zeigt, daß sich alle Mittelwerte signifikant auf dem 1 % Niveau der Irrtumswahrscheinlichkeit unterscheiden. Diese Aussage gilt zusammenfassend für alle Mittelwerte der jeweiligen Variationsursache, es kann daraus nicht gefolgert werden, daß sich zwei einzelne Mittelwerte unterscheiden. Im einzelnen läßt sich sagen: Die verschiedenen Gipsfabrikate haben ihr Gesamtmittel betreffend (Abb. 9) signifikant unterschiedliche Expansionswerte (Zeile 1). Der hohe F-Wert für den Faktor Meßstrecke beweist den starken Einfluß, den Form und Dimension der Meßstrecken auf die Höhe der Abbindeexpansion haben (Zeile 2). Die gesicherte, wenn auch schwache, Wechselwirkung (Zeile 3), läßt erkennen, daß die Expansionsunterschiede zwischen den Gipsen nicht bei allen Meßstrecken übereinstimmen (Abb. 5 - 7), oder anders formuliert: die Expansionsunterschiede zwischen den Meßstrecken nicht bei allen Gipsen übereinstimmen (Abb. 8).

6. DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE UND DES VERFAHRENS

In der vorliegenden Arbeit wurde die Dimensionsänderung von 12 zahnärztlichen Gipsprodukten an 3 Meßstrecken innerhalb eines Oberkiefermodells untersucht. Dazu wurden jeweils 5 gesockelte Oberkieferabgüsse aus einem in Annäherung volumenkonstanten Silikonabformblock hergestellt. Die Silikonabformung war von einem mit eingefrästen Meßstrecken versehenen Standardkunststoffmodell gewonnen worden. Die Meßstrecken in der Silikonabformung konnten genau bestimmt werden. Dadurch wurden absolute Werte für die gips- und meßstreckenabhängige Längenänderung ermittelt. Faßt man alle Meßungen pro Gipsprodukt zusammen (5 Modelle $\times$ 3 Meßstrecken = 15 Meßungen), erhält man einen Gesamtmittelwert für die Dimensionsänderung eines Fabrikats (Abb. 9). Es zeigte sich, daß die Gipsfabrikate einer linearen Abbindeexpansion von unterschiedlicher Größe unterlagen.

Die von den Autoren an einfachen Prüfkörpern gewonnenen Expansionswerte wurden mit dieser gänzlich anderen Prüfkörperform und Herstellungsmethodik bestätigt.

Normen für die linearen Expansionswerte zahnärztlicher Gipsprodukte wurden von der American Dental Association (Spec. No. 25; 1) aufgestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß es sich um eine optische Vermessung eines 30 cm langen Prüfkörpers in einem V-förmigen Trog handelt.

Verbesserte Hartgipse (dental stone, high strength) sollten laut ADA 0,10 % lineare Expansion nicht überschreiten.

Von den insgesamt 6 untersuchten Produkten dieses Typs erfüllten nur 2 diese Anforderung (DUROR 0,06 %, BEGODUR 0,09 %).

Die anderen lagen teilweise beträchtlich darüber (VELMIX 0,14 %, ALPHA-DUR 0,16 %, MOLDAROC 0,21 %, TEWESTONE 0,21 %).

Hartgipse (dental stone) sollten maximal 0,20 % lineare Expansion erreichen. Von den 3 untersuchten Produkten erfüllten dies RAPIDUR 0,11 % und MOLDANO 0,17 %. WIPO-GRANIT, der vor allem als Spezialhartgips für das Spritzgußverfahren verwendet werden soll, wies 0,23 % lin. Expansion auf.

Die beiden untersuchten Modellgipse (model plaster) NON-PLUS-ULTRA und MOLDABASTER lagen mit je 0,28 % lin. Gesamtexpansion innerhalb des von der ADA mit 0,30 % gesetzten Limits.

Das Modellmaterial für das SR-IVOCAP System, ein Injektionspreßverfahren mit Heißpolymerisat, unterliegt besonderen Ansprüchen. Durch dieses Verfahren gelingt es offensichtlich durch Nachpressen während der Polymerisationsphase die Polymerisationsschrumpfung weitgehend auszuschalten (MARX, 20). Da die thermische Kontraktion des heißpolymerisierten Kunststoffes bei der Abkühlung von 100° auf 20° C achtmal größer ist, als die des Gipsmodells, stellt die hohe Abbindeexpansion des Modellmaterials von 0,37 % lin. gewissermaßen einen Kompensationsfaktor dar. Durch die mehrmaligen Übertragungen bei der Prothesenherstellung (Kiefer-Abdruckmaterial-Gipsmodell-Wachs-Kunststoff) kann niemals damit zu rechnen sein, daß höchste Präzision erreicht wird. Modellmaterialien, die für die Heißpolymerisation geeignet wären, müßten thermische Ausdehnungskoeffizienten haben, die im Bereich der Kunststoffe liegen. Darüber kann in dieser Arbeit keine Aussage getroffen werden. Will man die unterschiedlichen Kontraktionskoeffizienten durch die Abbindeexpansion kompensieren, erhält man bei der Abkühlung latente Spannungen, die sich nach dem Abheben der Prothesen vom Modell in unkontrollierbaren Verformungen äußern (20).

Soweit vom Hersteller Daten über die Abbindeexpansion angegeben sind, seien sie mit den hier ermittelten Werten verglichen. Erreicht wurden die Herstellerangaben bei DUROC und MOLDANO, nicht erreicht bei RAPIDUR, VELMIXSTONE, TEWESTONE und ALPHADUR (vergl. Abschnitt 3.1.).

Die Gipse nur anhand des Gesamtmittels ihrer Abbindeexpansion zu betrachten, wäre auf Grund der weiteren Aspekte der Versuchsergebnisse ein fragwürdiges Unterfangen.

Der statistisch gesicherte hohe Einfluß der Meßstreckenabmessungen auf die Abbindeexpansion läßt die Bildung eines Gesamtmittelwerts sinnlos erscheinen. Während die Werte an Meßstrecke a

(transversal, hinterer Seitenzahnbereich) annähernd dem Gesamtmittel entsprechen, erreichen die Werte der Strecke b (transversal, 14-24) um durchschnittlich 0,07 % höhere Werte. Die Strecke c (sagittal, 14-17) indessen verhält sich umgekehrt; die Expansionswerte schrumpfen gegenüber dem Mittel um 0,07 %. Der Spezialhartgips DURAO zeigt den Extremfall einer absoluten linearen Schrumpfung von 0,01 % an der sagittalen Strecke. Analog den Gesamtmittelwerten der Gipse seien die Gesamtmittel der Meßstrecken zur Illustrierung des obengesagten angegeben.

Gesamtmittelwert Meßstrecke a : 0,20 % lin. Expansion

"	"	b : 0,26 %	"	"
"	"	c : 0,12 %	"	"

Gesamtmittel aller Messungen : 0,19 % lin. Expansion.

Abb. 8 zeigt die Beziehung, die zwischen den Meßstrecken bei allen Gipsen wiederkehrt. Die statistische Auswertung ergab jedoch, daß eine Wechselwirkung zwischen Gips- und Meßstreckeneinfluß besteht, (Tab. 19), wenn auch auf Grund des geringen F-Wertes sich keine hohe Signifikanz ergibt.

Die Differenzen zwischen den Expansionswerten der Strecken b und c reichen von 0,07 % - 0,19 % (Abb. 8). Dies drückt sich wiederum in den Standardabweichungen von den Gesamtmittelwerten aus, die zwischen $\pm 0,03$ % und $\pm 0,105$ % variieren (Abb. 9). Diese insgesamt sehr hohen Standardabweichungen sind nicht zwischen verschiedenen Modellen einer Gipsorte an gleicher Meßstrecke aufgetreten, sondern sie liegen innerhalb eines Modells zwischen den verschiedenen Meßpunkten.

Ohne auf die Ursachen einzugehen, kann man folgern, daß durch diese Untersuchungen eine Spannweite des Expansionsverhaltens innerhalb eines komplizierten Prüfkörpers angegeben wurde, die eigentlich die Eingrenzung der linearen Expansion eines Fabrikats auf eine exakte Prozentzahl überflüssig und wertlos macht. Unterschiedliche Prüfverfahren mit unterschiedlich physikalischen Bedingungen, Meßapparaturen, Meßbeginn- und Meßenddefinitionen und vor allem verschiedene Prüflingsformen mit unterschiedlichen

lichen Wandwiderständen bringen eine Vielzahl abweichender Expansionswerte. Von zwei viel untersuchten Gipsprodukten seien Beispiele gebracht.

Tab. 20

Expansionsverhalten von DUROC

lineare Expansion	Autor
0,05 %	Hersteller
0,072 %	PANTKE (24)
0,088 %	PANTKE (24)
0,08 %	SCHWINDLING (zit. bei 32)
0,025 %	GARDEMIN (7)
0,07 %	MEERKATZ (22)
0,06 $\pm$ 0,06 %	eigener Wert

Tab. 21

Expansionsverhalten von MOLDANO

lineare Expansion	Autor
ca. 0,20 %	Hersteller
0,13 - 0,25 %	JANKE (9)
0,10 %	SCHUBERT (32)
0,15 - 0,20 %	SCHWINDLING (zit. bei 32)
0,116 %	GARDEMIN (7)
0,18 %	MEERKATZ (22)
0,17 $\pm$ 0,065 %	eigener Wert

Auf Grund dessen sollten Expansionszahlenwerte nur im Hinblick auf das benutzte Verfahren gesehen werden. Es stellt sich außerdem die Frage, inwieweit die Expansionsangabe in linearen Prozent, also nur auf die Länge der Ausgangsstrecke bezogen, gerechtfertigt ist. Betrachtet man die Dimensionsänderung anhand der reinen Zahlenwerte der Längenänderung, sieht man, daß die Ausdehnung im transversalen Bereich an beiden Meßstrecken annähernd gleich groß ist. (Tab. 6 - 17)

Der Mittelwert der Ausdehnung beträgt bei Strecke a 0,109 mm, bei Strecke b 0,108 mm. Die sagittale Meßstrecke expandiert dagegen durchschnittlich nur um 0,035 mm.

Es ist versucht worden, die gemessenen Längenänderungen zum Querschnitt der Meßstrecken in Bezug zu setzen (Abb. 11). Es zeigte sich, daß die Flächen zwischen den Meßkanten etwa die gleiche Größe hatten. Die unterschiedlichen Expansionswerte können demnach hierin keine Erklärung finden.

Die sich aufdrängende Frage, inwieweit die Gipsmasse des Kieferbasisbereiches (Sockelmasse) die Expansion beeinflusst, wurde in einem Zusatzversuch geklärt (Tab. 18). Hierbei wurden nur die Zahnreihen und Alveolarfortsätze mit Spezialhartgips ausgegossen. Es resultierte eine hufeisenförmige Anordnung der Gipsmasse, die nach Aushärtung gesockelt wurde. Diese Methode der Modellherstellung wird von vielen Autoren empfohlen, um eine Verringerung der Expansionswerte zu erzielen. KNAB (12) hat bei DUDOC-Modellen mit dünnem Sockel geringere Expansionswerte als mit dickerem Sockel erzielt. Vorversuche hatten gezeigt, daß die Sockelung mit Modellgips, wenn sie zu früh erfolgte, die Ausdehnung der Hartgipsmodelle stark vergrößert, anstelle sie zu reduzieren. Dies ist sicher auf die zusätzliche Wasseraufnahme des Hartgipses bei noch nicht vollendetem Abbindevorgang zurückzuführen. Erst als nach 3 Std. Erhärungszeit gesockelt wurde, konnte kein Einfluß der Sockelmasse mehr nachgewiesen werden. Dies wurde experimentell gesichert durch zusätzliches Ausgießen und Vermessen von ungesockelten Zahnreihenausgüssen. Den Vergleich dieser Versuchsreihe (Tab. 18) mit den entsprechenden Vollaussgüssen (Tab. 6) zeigt das Stabdiagramm in Abb. 10. Die Standardabweichung der Mittelwerte ist bei den Zahnreihenausgüssen größer, da hier die Versuchsbedingungen (gleiche Ausgußmenge) nicht exakt eingehalten werden konnten. Beim Vergleich der Einzelmittelwerte ergeben sich Abweichungen (Strecke a und c beim Teilausguß kleiner, b größer), die sich jedoch im Bereich ihrer Standardabweichung so stark überlappen, daß kein signifikanter Unterschied entstehen kann.

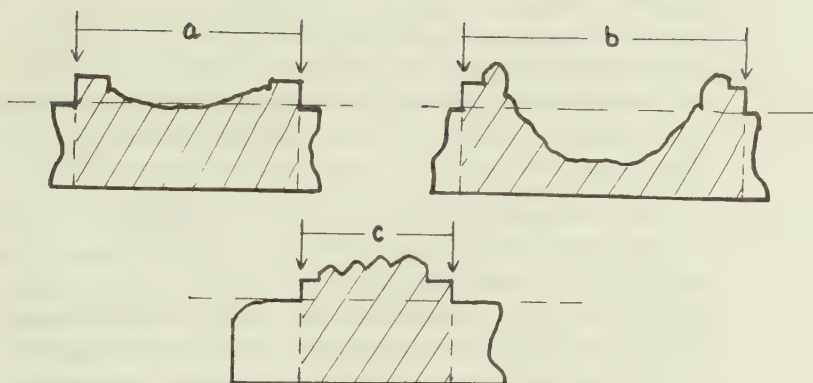


Abb. 11: Die Querschnitte des Kiefermodells zwischen den Meßkanten
Horizontale Linien: Begrenzung des eigentlichen Prüfkörpers
bei den Zahnreihenausgüssen.

Innerhalb des Gesamtmittelwertes bestehen zwischen beiden Versuchsreihen keine Expansionsunterschiede. Es ist zu schließen, daß die Sockelmasse bei den Vollausgüssen keinen Einfluß auf das Expansionsverhalten ausübt. Die Expansionswerte innerhalb der Zahnreihe eines Kiefermodells sind ursächlich nur vom dort abbindenden Gips bewirkt und können auch nur für die Zahnreihen Gültigkeit haben. Expansionsmessungen an der Kieferbasis können davon unabhängige Größe und Relationen zeigen. Praktisch bedeutet dies, die gewonnen Werte spielen nur eine Rolle für die Belange der Gnathologie (Okklusionsanalysen) und bei der Herstellung von rein dental getragenen Zahnersatz.

Ursächlich für die ungleichmäßige Expansion innerhalb aller Versuchsmodelle können zwei Faktoren verantwortlich sein: Erstens die Form des Prüfkörpers mit seiner spezifisch unterschiedlichen Massenverteilung des Gipses und zweitens das Verhalten der Ausgußhohlform, die durch unterschiedliche Wandwiderstände Verzerrungen bedingen könnte. Bei diesem Problemkreis können nur einige Vermutungen aufgestellt werden, da so gut wie keine vergleichbaren Untersuchungen und Ergebnisse auf diesem Gebiet vorliegen.

Auf dem speziellen Gebiet des Formverhaltens von komplizierten Körpern aus Modell- und Hartgips liegen keine Ergebnisse vor. Lediglich LEHMANN (19) stellte an Ausgüssen von Abformungen einfacher Kronenstümpfe fest, daß die Stumpfbasis unverhältnismäßig breiter wiedergegeben wurde als der obere Stumpfdurchmesser.

Untersuchungen über das Verhalten der Einbettmassen (auch deren Abbindeexpansion ist durch ihren Gipsgehalt bestimmt) zeigen, daß die Vorgänge komplizierter sind als vorher angenommen wurde. Mehrere Autoren stellten fest, daß die Abbindeexpansion von Einbettmassen sich in einer ungleichmäßigen Verzerrung der Formkörper auswirkt (u.a. REHBERG, 25; MASSING, 21). FUSAYAMA (6) sieht deshalb auch für Einbettmassen den Idealfall in einer Abbindeexpansion von nur 0,02 % lin. WAGNER (39) stellte fest, daß die lineare Abbindeexpansion um so geringer ist, je länger bei gleichbleibendem Durchmesser der Prüfkörper ist. Bei gleicher Meßlänge nimmt die lineare Abbindeexpansion mit dem Durchmesser des Prüfkörpers zu. MASSING (21) fand bei seinen Untersuchungen an MOD-Modellen und -Hohlformen aus Einbettmasse, daß unterschiedliche Materialdicken ein Maß für die lineare Expansion darstellen.

Genauere Erklärungen des Gipsvolumenverhaltens lassen sich aus den bisherigen Untersuchungen nicht ableiten.

Eine bei allen Untersuchungen wenig berücksichtigte Einflußgröße ist der mechanische Widerstand, den der expandierende Prüfkörper zu überwinden hat. Versuche von JØRGENSEN (10) und KUSNER (15) zeigen, daß die lineare Abbindeexpansion um so geringer ausfällt, je größer der Widerstand ist. Das heißt, Konstruktionsform und Abmessung der jeweiligen Meßapparatur und Ausgußform beeinflussen das Meßergebnis nicht unwesentlich. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurden die Kiefermodelle aus einer dauerelastischen Abformung hergestellt. Es ist denkbar, daß die Wandung der Abformung einem angenommenen gleichmäßigen Druck der Abbinde unterschiedlich nachgibt.

So ist z.B. die Materialschicht, die zwischen der sagittalen Meßstrecke und der äußeren Begrenzung der Abdruckhohlform liegt, bedeutend stärker als die an den transversalen Seiten.

Die Dicke der in Verlängerung der Meßkanten liegenden Wand-schichten beträgt im einzelnen:

Strecke a (17 - 27) : 1,9 und 1,6 cm

Strecke b (14 - 24) : 1,8 und 1,8 cm

Strecke c (14 - 17) : 3,2 und 2,4 cm

Die geringere sagittale Expansion ließe sich demnach nur durch den größeren elastischen Widerstand, den die Abformung der Ausdehnung in dieser Richtung entgegensetzt, erklären.

Hinzu kommt, daß die sagittale Meßstrecke direkt von einer Seitenwandung der Abformung begrenzt wird, die auf Grund ihrer Elastizität eine Ausdehnung dieser anliegenden Strecke begrenzen muß. Ähnliches gilt für die Strecke a im Vergleich zu b. Strecke a liegt am distalen Ende der Zahnreihe. Strecke b mit der maximal gemessenen Expansion liegt relativ weit inmitten der Abformung, ohne unmittelbar von stabilisierenden Schichten des Abformmaterials begrenzt zu sein. Sie ist die einzige Strecke, die von beiden Seiten nur mit Gipsmasse umgeben ist.

Folgt man diesem Prinzip, läge die größte transversale Expansion in einem Kiefermodell dort, wo der größte Abstand von den ausdehnungshemmenden vorderen und hinteren Abdruckbegrenzungen liegt, beim vollbezahnten Kiefer damit im Bereich zwischen zweitem Prämolare und erstem Molare.

Die aufgestellte Hypothese bezieht sich im besonderen auf die Abformbedingungen dieser Arbeit, bei der aus bereits erwähnten Gründen auf eine stabilisierende Umfassung der Abdruckhohlform verzichtet wurde und eine starke Schicht aus Abformmasse die einzige Wandung darstellte. Verziehungen dieser Abformung erstens durch ungleichmäßigen Druck und zweitens durch das erwähnte unterschiedliche Rückstellvermögen der Masse je nach Lage der Meßstrecke sind leichter möglich als bei einem löffelfixierten Abdruck. Dasselbe Prinzip kann sich aber auch bei löffelbegrenzten Abformungen mit hochelastischen Massen auswirken, da auch hier die Schichtdicke der Masse stark genug

ist, um je nach Anordnung der Materialschichten unterschiedliche Rückstellungskräfte auftreten zu lassen.

Daß auch geringste Widerstandsunterschiede die Höhe der Expansion maßgeblich beeinflussen können, zeigte KUSNER (15). Er beschichtete einen V-förmigen Trog einmal mit Zinnfolie und ein andermal mit einem Film aus Teflon. Der nur durch diese unterschiedlichen Reibewiderstände bedingte Expansionsunterschied betrug 0,15 % lin.

Die unterschiedliche Expansion innerhalb der Kiefermodelle läßt sich zusammenfassend auf eine Wechselwirkung zweier Faktoren zurückführen:

1. Die Wirkung unterschiedlicher Expansionskräfte durch formbedingte unterschiedliche Massenverteilungen und Schichtdicken des Gipses, und
2. die Hemmung der Abbindeexpansion durch unterschiedliche elastische Widerstände innerhalb der Abformung.

Die Höhe der eingetretenen Veränderung liegt jedoch bei einer geringen absoluten Größe. Es schwankt das Fabrikat mit der geringsten Expansion zwischen 0,002 mm Kontraktion und 0,053 mm Expansion und der Modellgips mit der größten Expansion zwischen 0,060 und 0,152 mm Expansion.

Diese Werte sind für die entsprechenden zahnärztlichen und zahntechnischen Arbeiten von ausreichender Präzision.

Die Modellherstellung und deren Materialien kann nicht getrennt von der Abdrucknahme und deren Werkstoffen gesehen werden. Hier besteht nach SCHWINDLING (36) eine funktionelle Einheit, deren oberstes Ziel es ist, eine Kongruenz zwischen Original und Modell zu erreichen.

Die in der Zahnheilkunde gebräuchlichsten Materialien zum Abformen ganzer Kiefer zeigen höchst unterschiedliches Expansionsverhalten und teilweise bedeutend höhere Volumenveränderungen als der Modellwerkstoff Gips. Massen auf Alginatbasis verändern sich je nach Lagerung in teilweise erheblichem Umfang, von fast 1 %iger Quellung im Wasserbad bis mehr als 1 %ige

Schrumpfung in Luft (27, 35).

Hydrokolloide zeigen in bedeutend geringerem Maße ein ähnliches Verhalten. Silikonabformmassen schließlich quellen direkt nach Anmischung und schrumpfen danach um 0,3 bis 1 % lin. je nach Material (27).

Die Idealforderung an Abform- und Modellwerkstoffe wäre für beide keinerlei Dimensionsänderung. Da dies nicht erreichbar ist, sollte man bestrebt sein, die geringgradige Expansion der Gipsmodellwerkstoffe gegen geringgradige Kontraktionen der Abformwerkstoffe auszugleichen.

Um diese Kompensation des Dimensionsverhaltens zu erreichen, ist eine genaue Kenntnis der Werkstoffeigenschaften und deren Handhabung notwendig; der Fehlerfaktor könnte sich ansonsten leicht vergrößern statt verkleinern.

Vollständig ausgleichen könnten sich die gegenläufigen Dimensionsänderungen theoretisch nur bei ungehinderter freier Kontraktion des Abformmaterials und ebenso ungehinderter gleichmäßiger Expansion des Modellmaterials.

Daß das Letztere an verschiedenen Hemmnissen scheitert, ist auch ein Ergebnis dieser Arbeit.

7. ZUSAMMENFASSUNG

12 dentale Gips-Modellwerkstoffe wurden vergleichenden Untersuchungen zur Dimensionsänderung unterzogen. Von einem Oberkiefermodell, welches 2 transversale und eine sagittale Meßstrecke aufwies, wurde mit einer Industriesilikonmasse eine Ausgußform hergestellt. Die Meßstrecken in der Abformung wurden vermessen und erwiesen sich während der Versuchsdauer als hinreichend konstant. Die Gipse wurden unter normierten Bedingungen verarbeitet und reproduzierbaren Versuchsabläufen unterworfen. Nach optischem Vermessen der Kieferausgüsse konnte die lineare Expansion der einzelnen Gipsfabrikate an den eingefrästen Strecken bestimmt werden.

Die Gesamtmittelwerte aus jeweils 5 Prüflingen bestätigten die von anderen Autoren an einfachen Prüfkörpern gewonnenen Werte: Die 6 Spezialhartgipsfabrikate variierten zwischen 0,06 und 0,21 %, die 3 Hartgipse zwischen 0,11 und 0,23 % linearer Expansion. Beide Modellgipse expandierten 0,28 % lin. und eine spezielle Modellmasse zur Kunststoffprothesenherstellung 0,37 % lin.

Diese Gesamtmittelwerte hatten hohe Standardabweichungen, da sich hoch signifikante Expansionsunterschiede zwischen den 3 Meßstrecken ergaben. So vergrößerte sich die Strecke zwischen den 1. Praemolaren um 0,26 % lin. im Mittel, gefolgt von der Strecke zwischen den 2. Molaren (0,20 %) und der sagittalen Strecke (0,12 %).

Die unterschiedliche prozentuale lineare Ausdehnung innerhalb des Kiefermodells, die bei allen Prüflingen auftrat, läßt sich auf die noch wenig geklärte Wechselwirkung zweier Faktoren zurückführen.

1. Der Einfluß der Formgebung des komplizierten Prüfkörpers an den einzelnen Meßstrecken, der durch verschieden große Gipsmengen und deren spezifische Anordnung uneinheitliche prozentuale Ausdehnungen bewirkt,

2. Der Einfluß des Abformmaterials, das durch unterschiedlich hohe Widerstände an verschiedenen Stellen der Abformbegrenzung die Höhe der Abbindeexpansion hemmen und beeinflussen kann.

Durch eine zusätzliche Versuchsreihe wurde festgestellt, daß die Sockelmasse der Modelle keinen Einfluß auf die Höhe und die spezifische Relation der Abbindeexpansion im Kiefermodell hat. Mit Abgüssen nur der Zahnreihen wurde dasselbe oben geschilderte Expansionsverhalten ermittelt.

Aus den gewonnenen Ergebnissen resultiert, daß die Angabe der Expansion von Gipsprodukten in Prozent linear nur bedingten Wert hat. Die Form der Prüfkörper und Unterschiede im Widerstand bei der Abbindeexpansion führen zu großen Abweichungen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. AMERICAN DENTAL ASSOCIATION
Specification no. 25 for dental gypsum products
J. Amer. dent. Ass.
2. BROCKHAUS
ABC Chemie, Bd. I und II
F.A. Brockhaus Verlag, Leipzig (1966)
3. CAESAR, H. H.:
Versuchsreihe über Abdruck- und Modellmaterial
Dental Labor 19, 7, 24 (1971)
4. COMBE, E. C.:
Notes on dental materials
Churchill Livingstone, Edinburgh and London (1972)
5. EICHNER, K. :
Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer
Verarbeitung
Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg (1974)
6. FUSAYAMA, T.:
Factors and technique of precision casting
J. prosth. Dent. 9, 479 (1959)
7. GARDEMIN, U.:
Über das Volumenverhalten von Hartgipsen und Modell-
zementen
Dtsch. zahnärztl. Z. 24, 539 (1969)
8. HOGATT, G. A.:
A method of producing gypsum plaster
US-Patent 2, 616, 789 (1952)
9. JANKE, G.:
Zur Beschaffenheit des individuellen Abdrucklöffels
Zahnärztl. Welt 10, 198 (1955)
10. JØRGENSEN, K. D.:
Investigation of the expansion properties of some
dental modell plasters
Acta odont. scand. 12, 24 (1954)

11. KLÖTZER, W.T. und KÖRBER, E.:
Gips
in EICHNER, K. zahnärztliche Werkstoffe und ihre
Verarbeitung
Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg (1974)
12. KNAB, W.W.:
Vergleichende Untersuchungen über das Dimensionsver-
halten von Zahn- und Kiefermodellen aus Gips und
Kunststoff
Med. Diss. Erlangen-Nürnberg (1972)
13. KÖRBER, K.H.:
Ein elektrisches Verfahren zur Bestimmung und Registrierung
von Volumenveränderungen zahnärztlicher Werkstoffe
Dtsch. Zahnärztebl. 15, 312 (1961)
14. KREYSZIG, E.:
"Statistische Methoden und ihre Anwendung
Vandenhoeck u. Rupprecht, Göttingen (1965)
15. KUSNER, W.:
The final expansion of plaster
J. dent. Res. 47, 694 (1968)
16. LAURITZEN, A. G.:
Atlas of occlusional analysis
Johnson publishing Co., Boulder Colorado (1974)
17. LAUTENSCHLAGER, E. P. a. CORBIN, F.:
Investigation of the expansion of dental stone
J. dent. Res. 48, 206 (1969)
18. LAUTENSCHLAGER, E.P. u.a.:
Setting reactions of gypsum materials investigated
by X-ray diffraction
J. dent. Res. 48, 43 (1969)
19. LEHMANN, K. und LANGE, G.:
Vergleichende Untersuchungen über Modellmaterialien
für Kronen und Brücken
Dtsch. zahnärztl. Z. 28, 819 (1973)
20. MARX, H.:
Herstellungsverfahren und Paßform von Kunststoff-
Vollprothesen
Dental Labor 23, 591 (1975)

21. MASSING, M.:

Das Formverhalten von einfachen und komplizierten
Körpern in Abhängigkeit von der Kontraktion bzw.
Expansion des Materials
Med. Diss. Köln (1971)

22. MEERKATZ, H.E.:

Vergleichende Werkstoffprüfung zahnärztlicher
Gipse nach der ADA-Spezifikation Nr. 25
Med. Diss. Tübingen (1975)

23. OSWALD, G.:

Ist das Gipsmodell ein raumgetreues Ebenbild des Kiefers ?
Med. Diss. Mainz (1952)

24. PANTKE, H. und HERNSDORF, U.:

Untersuchungen über das Dimensionsverhalten der
Modellwerkstoffe Duroc und Glastone
Dtsch. Zahnärztebl. 20, 501 (1966)

25. PANTKE, H. und HERNSDORF, U.:

Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit
von Duroc- und Glastone - Modellen
Dtsch. Zahnärztebl. 21, 132 (1967)

26. REHBERG, H.J.:

Hohlraummessungen in Einbettmassen
Dtsch. zahnärztl. Z. 22, 1340 (1967)

27. REHBERG, H.J.:

Die Quintessenz der zahnärztlichen Abformhilfsmittel
Quintessenz Verlag, Berlin (1971)

28. RIETHE, P.:

Über den Einfluß verschiedener Abdruck- und Modell-
werkstoffe auf die Paßgenauigkeit von MOD-Füllungen
Dtsch. zahnärztl. Z. 18, 1034 (1963)

29. RITZE, H.:

Untersuchung verschiedener Modellmaterialien
Dental Labor 14, 299 (1966)

30. SALAMON, D.:

Experimentelle Untersuchung über die Druckfestigkeit
und Kugeldruckhärte verschiedener Hart- und Spezial-
hartgipse

Med. Diss. Mainz (1970)

31. SCHOENBECK:

Zahnärztliche Werkstoffkunde

Joh. Ambrosius Barth Verlag, Leipzig (1942)

32. SCHUBERT, W.:

Verlauf und Umfang der Expansion zahntechnischer
Formgipse

Dtsch. Stomat. 8, 593 (1958)

33. SWEENEY, W.T. and TAYLOR, D.F.:

Dimensional changes in dental stone and plaster

J. dent. Res. 29, 749 (1950)

34. SCHWINDLING, R. und GENIESER, H.:

Volumenverhalten, Härte und Bruchfestigkeit
neuerer zahnärztlicher Hartgipse

Dtsch. Zahn-, Mund- u. Kieferheilk. 37, 317 (1962)

35. SCHWINDLING, R.:

Modellergebnisse bei verschiedenen Aufbewahrungs-
arten des Alginatabdrucks

Dtsch. zahnärztl. Z. 14, 1009 (1955)

36. SCHWINDLING, R.:

Modellwerkstoffe

in EICHNER, K., Zahnärztliche Werkstoffe und ihre
Verarbeitung

Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg (1974)

37. SCHWINDLING, R.:

Abdruckmaterialien

in EICHNER, K., Zahnärztliche Werkstoffe und ihre
Verarbeitung

Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg (1974)

38. VACEK, C.M.:

Über die Reproduktionsverläßlichkeit einiger
Hartgipse

Quintess. zahnärztl. Lit. 17, 65 (1966)

39. WAGNER, E.:

Beitrag zum Präzisionsgußverfahren

Dtsch. zahnärztl. Z. 9, 1215 (1967)

40. WEIKART, P.:

Werkstoffkunde für Zahnärzte

Carl Hanser Verlag, München 1966

Herrn Prof. Dr. H. M a r x möchte ich abschließend für die freundliche Überlassung des Themas und die wertvolle Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit herzlich danken.

An gleicher Stelle sei Frau Dipl. Phys. J. H a h n für die gewährte Hilfe bei der statistischen Auswertung gedankt.

,

LEBENS LAUF

Am 29.9.1950 wurde ich als Sohn des Beamten Karl Paulick und seiner Ehefrau Magdalene, geborene Schäfer in Frankfurt a.M. geboren.

Im Jahre 1957 wurde ich in die Grundschule in Frankfurt aufgenommen. Ab 1961 besuchte ich das Goethe-Gymnasium in Neu-Isenburg. 1964 wechselte ich zur Ricarda-Huch-Schule in Sprendlingen (Hess.) über. Dort legte ich im Juni 1969 im mathematisch-naturwissenschaftlichen Zweig die Reifeprüfung ab.

Im Oktober 1969 immatrikulierte ich mich an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz im Studienfach Zahnmedizin. Im September 1970 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im April 1972 die zahnärztliche Vorprüfung.

Das Staatsexamen legte ich im Oktober 1974 ab.

Seit September 1975 arbeite ich als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Zahnärztlichen Universitäts-Institut der Stiftung Carolinum in Frankfurt a.M. in der Abteilung für Zahnersatzkunde.

